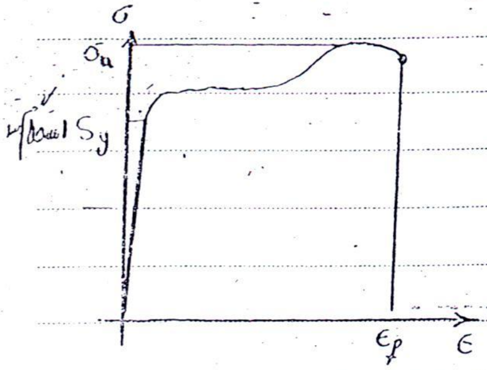
خواص اساسی مواد

ایزوتروپ: خواص مکانیکی در تمام جهات یکسان است. ارتوتروپ: مخالف ایزوتروپ است.

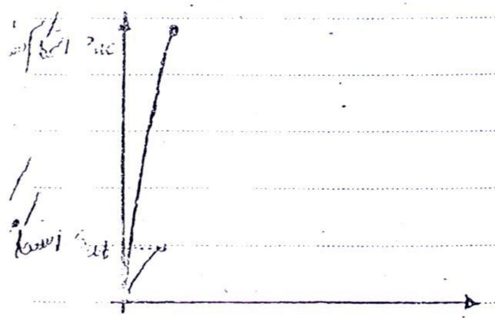


$\epsilon_p < 5\%$ فولاد ترد Brittle

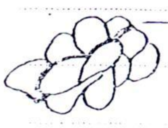
$\epsilon_p > 5\%$ فولاد نرم Ductile

مواد چکش خوار با انجام کار سرد روی آن ها تنش حد تسلیمشان بالا می رود.

چدن ها (cast Iron): چدن سفید، خاکستری و ساده داریم که بیشتر از کربن موجود در فولاد طبقه بندی می شوند. بین استحکام کششی و فشاری آن ها حدود ۱۰ برابر تفاوت است



دانه های چدن مقدار کریستال بالا است. علاوه بر آن در مرز دانه ها هم کربن رسوب کرده وجود دارد که نقطه ضعف است و چدن را شکسته (ترد) می کند. فولادها با استحکام بالا ϵ_p پایینی دارند. فولادهای ساختمانی ϵ_p بالا دارند.



برای جوشکاری کاربرد دارند. فولادها از استحکام پایینی حدود ۲۳۵ MPa تا

Subject:
Year. Month. Date. ( )

۶۰۰ MPa هستند. در استاندارد دین، این فولادها را با St نشان می دهند و عددی که بعد از آن می آید صدم درصد کربن موجود در آن است. مثلاً St۳۷، ۰.۳۷ درصد کربن دارد. اگر عدد بعد از St را در ۱۰ ضرب کنیم تقریباً استحکام نهایی را به ما می دهد. St۳۷ پرکاربردترین این نوع فولادها می باشد که در جوشکاری و ساخت ورق ها ... کاربرد دارد. برای این فولاد $S_y = ۲۱۰$ و $S_u = ۳۷۰$ است. St۴۲ و St۵۰ و St۶۰ و St۷۰ انواع دیگر این فولادها هستند. بعد از دسته ی فوق فولادهای آلیاژی هستند. فولادهای آلیاژی، علاوه بر کربن، عناصر دیگری در درون خود دارند. استحکام نهایی آنها از ۴۵۰ تا ۱۰۰۰ مگاپاسکال می باشد. از ویژگی های آنها این است که در برابر بارهای سیکل بارگذاری بالا مقاومت دارند و نیز دارای ویژگی جلوگیری از ایجاد ترک با علائم تمرکز آن هستند. دسته ی نهایی فولادهای فنر و فولاد ابزار هستند که استحکام نهایی آنها ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ می باشد. معمولاً به دلیل کربن بالا قابلیت جوشکاری ندارند.

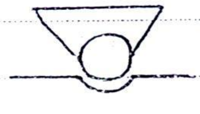
آلومینیوم ها: آلومینیوم ها به ۷ دسته تقسیم می شوند. آلومینیوم ها را با ۴ رقم نشان می دهند که نشانگر نوع کاربرد آلومینیوم و مواد آلیاژی آن است. E آنها در حدود ۷۰ GPa می باشد. ۷ سری آلومینیوم عبارتند از: I) سری ۱۰۰۰: برای مصارف الکتریکال و انتقال گرما کاربرد دارند. II) سری ۲۰۰۰:

PaPCO

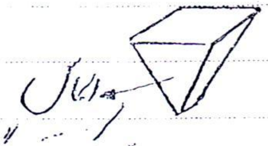
برای ساختن شفتینگ استفاده می شود. قابلیت تراش خوبی دارد. برای ساختن قطعات دائمی استفاده می شود. III) سری ۳۰۰ IV) سری ۴۰۰ V) سری ۵۰۰: برای ساختن قطعاتی که [illegible] پایدار دارند استفاده می شود VI) سری ۶۰۰ VII) سری ۷۰۰: تقریباً کاربردی مشابه سری ۲۰۰ دارد.

بعد از این چهار رقم ممکن است یک حرف دیگر بگذارند ولی رقم یا حرف دیگر اضافه کنند که این نحوه‌ی عملیات حرارتی انجام شده روی آن را نشان می دهد.

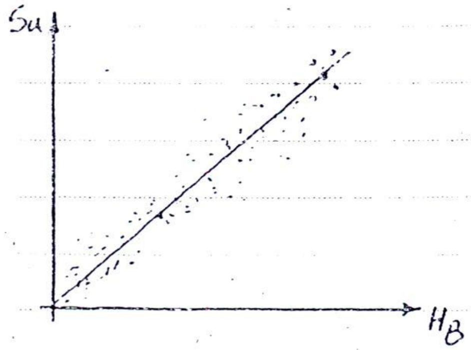
سختی (Hardness): مقاومت مواد را در مقابل تغییر شکل پلاستیک نشان می دهد.



I) برینل: برای مواد نرم ساچمه تغییر شکل می دهد.

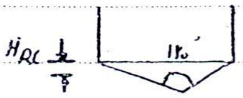


II) ویکرز: دیامیسون الماس در یک هرم [illegible] است.



اگر Su را برحسب H_B رسم کنیم برای فولادها خواهیم داشت:

$$S_u \approx 3.41 H_B$$



III) راکول: این روش بیشتر برای مواد سخت به کار می رود. برای فولادها از راکول C استفاده می شود و اساس آن طول است.

Subject

Date

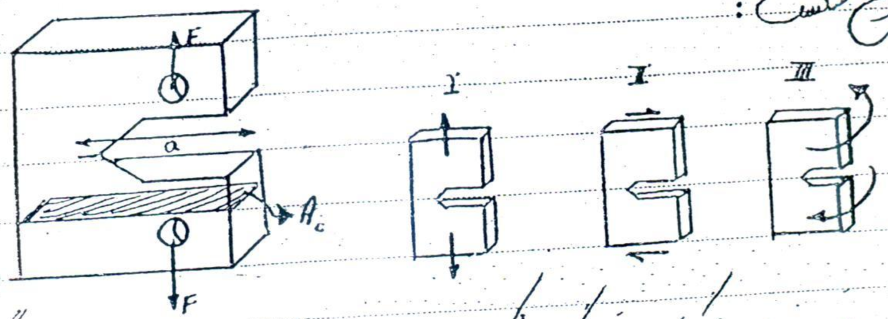
چقرمگی (Toughness) : خاصیتی از ماده که در مقابل پیشرفت ترک مقاومت ماده را نشان می دهد.

$$K = Q\,\sigma_{\infty}\sqrt{\pi a}$$

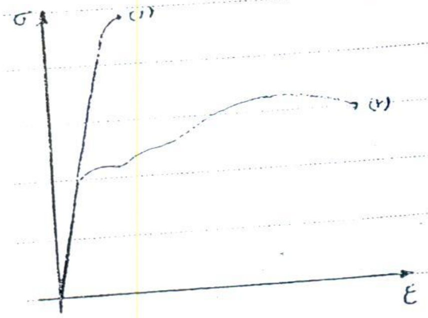
σ_{∞} → far field stress

سه نوع شکست :

آزمایش K_{IC}



جسم (۱) تحمل نیروی بزرگتری را هنگام شکست دارد. در حالی که جسم (۲) تحمل ضربه ی بزرگتری را دارد



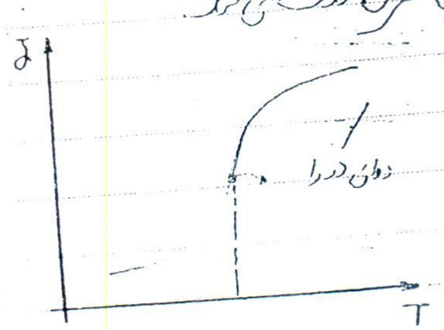
چون سطح زیر منحنی بیشتری دارد. (در آزمایش ضربه

سطح زیر نمودار F-δ برابر انرژی جذب شده و سطح

زیر نمودار σ-ε چگالی انرژی جذب شده را نشان می دهد)

پس مواد نرم مقاومت در برابر ضربه شان بیشتر است. با تغییر دما این نتایج متفاوت می شود

اگر دما را بالا ببریم ماده نرم تر می شود و در آزمایش ضربه انرژی بیشتری جذب می کند.

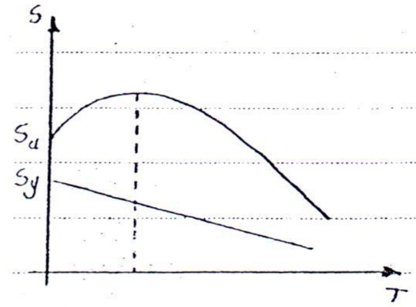


منحنی مقاومت ضربه ای فولاد در برابر تغییر دما:

دمای ترد را با آزمایش پایین تر از نقطه کاری قرار داد

Subject
Date ۸۴ / ۱۲ / ۵ (۵)

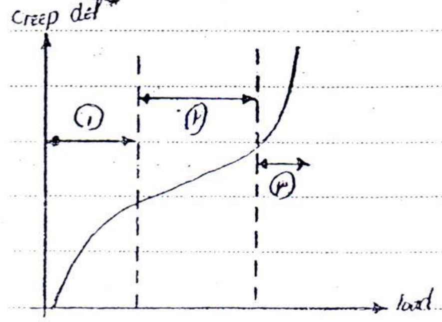
نمودار تغییرات S برحسب دما:

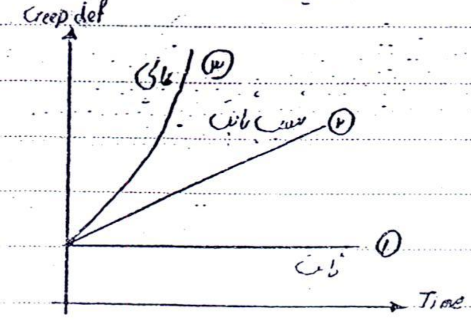


با زیاد کردن دما S_u ابتدا زیاد می‌شود. دلیل این امر

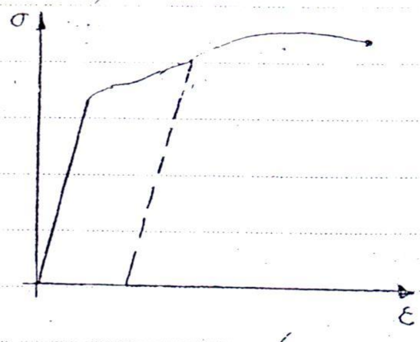
آن است که کربن و آهن طرز درهم قرار می‌گیرند.

خزش: در دماهای پایین معمولاً خزش قابل مشاهده نیست و در زمان های طولانی اتفاق می‌افتد.





کارسرد (Cold working): اگر مقداری کار سرد روی جسم انجام دهیم طوری که ما را تا کمی



حتی بیش حد تسلیم عبور کنیم و سپس ماده را به حال

خود رها کنیم، تنش حد تسلیم آن بیشتر می‌شود ولی

مقاومت جسم در برابر ضربه کاهش می‌یابد (اول

مساحت زیر نمودار کاهش یافته است) هنگامی کار سرد در اتصال مهم است که می‌خواهیم جسم به حد

تسلیم نرسد. برای این منظور قبل از به کار بردن ماده مقداری کار سرد روی آن انجام می‌دهیم. این

Subject
Date

فرآیند برای میل گردها مناسب است زیرا مقاومت در برابر خمشی میل گردها خیلی باید زیاد باشد

و دلیل آن این است که به صورت فنر عمل می کند. در مورد پیچ هاش حداقل باید بالا باشد

زیرا در غیر این صورت هرز روی آن ایجاد می شود

عملیات حرارتی

۱. آنیل کردن (Anealing): در این حالت تنش های پسماند در جسم به کلی از بین می رود و

آن گاه جسم را به آرامی سرد می کنیم تا دوباره در آن تنش پسماند به وجود نیاید (گرم کردن تا حدود

دمای ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه) در آنیل کردن جسم به ناحیه (۳) در نمودار کرنش ... می رسد

۲. کوئنچ کردن (Quenching): سطح جسم کاملی سخت می شود ولی داخل آن به دلیل

سرد شدن تنش های پسماند در آن باقی می ماند اگر فولاد به اندازه ی کافی کربن داشته باشد پس از

کوئنچ بسیار سخت می شود. در کوئنچ مقاومت ضربه ای کاهش می یابد. کوئنچ معمولا در هوا، آب نمک،

آب نمک و خود کوره انجام می شود

۳. Temper : با حرارت ۲۰۰ گرم می شود سختی را خیلی پایین نمی آورد ولی تنش های پسماند را

حذف می کند

PaPCO

Subject
Date
(۶)

۴. Cace Hardening: در مواردی به کار می رود که بخواهیم سختی سطح یک جسم بیشتر از سختی درون آن باشد.

عناصر به کار رفته در فولادهای آلیاژی:

۱. کروم: باعث می شود سختی جسم زیاد شود. استحکام را بالا می آورد. دمای بحرانی را نیز بالا می برد. شکل پذیری بیشتر می شود. در برابر سایش مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد.

۲. نیکل: استحکام را بالا می برد. منظور از استحکام همان تنش استحکام حد تسلیم و استحکام کششی است (بیشترین تنشی که می توان اعمال شود)

۳. منگنز: گوگرد در دارد. یکی از عناصری است که عملی است ارزان در فولاد موجود باشد. گوگرد در برابر خواص فولاد بسیار مضر است و استحکام و سختی فولاد را پایین می آورد. منگنز اثر گوگرد را خنثی می کند.

۴. سیلیسیم: خاصیت فنریت را بالا برده ولی ماده را شکننده می کند (هسته بر استفاده در فنرها)

۵. مولیبدن: دمای بحرانی جسم را بالا می برد. اگر یک جسم در دماهای بالا کار کند و بخواهیم دچار تغییر شکل نشود باید از مولیبدن در آن استفاده کنیم. از این روش در ... استفاده می شود.

PaPCO

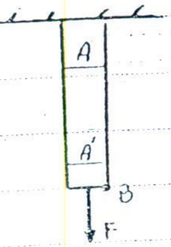
Subject
Date

۶. وانادیم: در فولادهای کم کربن به کار می رود و گران قیمت است و کار مولیبدن را انجام می دهد.

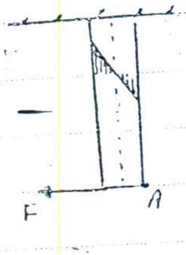
۷. تنگستن: دمای بحرانی را بالا می برد. چقرمگی را نیز بالا می برد. در فولادهای پر کربن و ابزاری از آن استفاده می شود.

تنش ها: الف) محوری: عمود بر سطح هستند. عواملی که باعث ایجاد تنش محوری می شوند:

۱. نیروی محوری: اگر بارگذاری به صورت متمرکز باشد، در نقطه اعمال نیرو تنش بی نهایت و در نقطه B تنش صفر است. در سطح A توزیع تنش در سطح به صورت زیر خواهد بود.

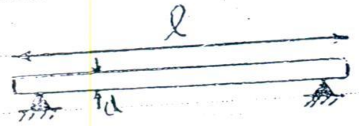


۲. ممان خمشی:



$$\sigma = \frac{My}{I}$$

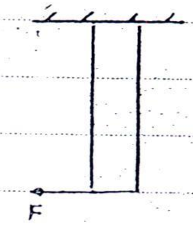
توجه: $\frac{l}{d} > 10$ ← خمش مهم است



$\frac{l}{d} < 1$ ← برش مهم است

$1 < \frac{l}{d} < 10$ ← هر دو مهم است

ب) تنش برشی: مماس بر سطح می باشد. عوامل ایجاد آن عبارتند از:

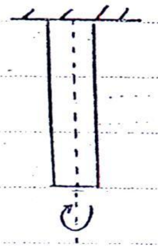


۱. نیروی برشی:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

برای سطح مقطع مستطیلی

$$\tau_{Max} = \frac{3}{2} \times \frac{F}{A}$$



۲. گشتاور پیچشی: در مقاطع دایره‌ای:

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

که در آن r فاصلهٔ نقطه تا مرکز پیچش و J ممان اول سطح است:

در مقاطع مستطیلی

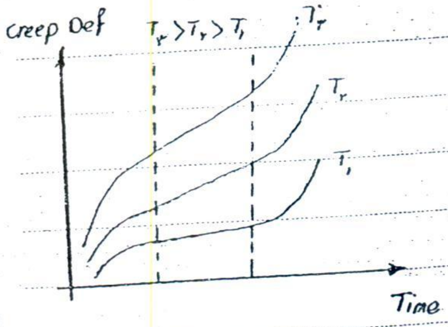
$$\tau_{Max} = \frac{T}{\alpha b c^2}$$

که در آن $\alpha = 3 + \frac{1.8}{b/c}$ می باشد.

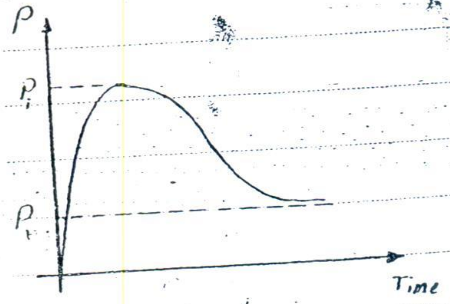
Subject
Date ۸۶ / ۱۲ / ۷

در آزمایش خزش اثر دما هم خیلی بارز است.

آزمایش خزش برای خزش به زمان زیادی نیاز دارد. به همین دلیل از آزمایش زیر استفاده می‌کنند:



جسم را در یک محفظه گرم می‌کنند و آن را آن قدر می‌کشند تا در یک Def و P خاص برسد سپس P را کم می‌کنند. بعد از مدتی به حالتی می‌رسیم که دیگر سرد تغییر شکل در جسم ایجاد نمی‌کند (P_2). با استفاده از مقادیر P_1 و P_2 می‌توان منحنی آزمایش را پیش بینی کرد.

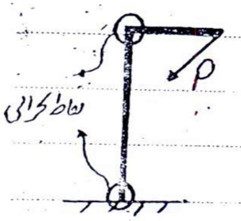


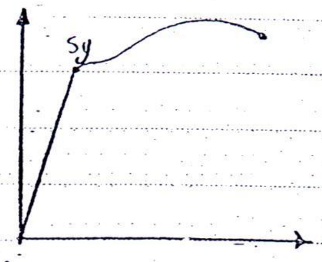
معیارهای شکست

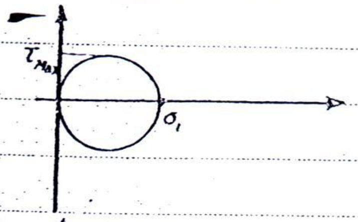
معیارهای شکست دو دسته‌اند: الف) استاتیکی: که خود به دو بخش تقسیم می‌شوند: ۱. مواد چکش خوار ۲. مواد ترد

تئوری ترسکا: این تئوری مربوط به مواد چکش خوار است. یک جسم طبق این تئوری زمانی می‌شکند که ماکزیمم تنش برشی آن به مقدار تنش برشی آن در آزمایش کشش ساده برسد. در قدم اول باید محل رخ دادن تنش برشی ماکزیمم را به دست آوریم. همیشه باید نقاط بحرانی مسئله را تحلیل و بررسی

کم در بررسی ها استحکام تسلیم برایمان مهم است.

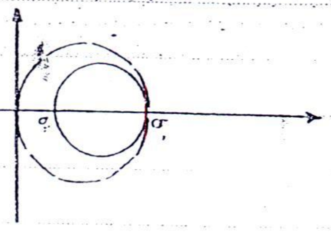






$$\tau = \frac{S_y}{2}$$

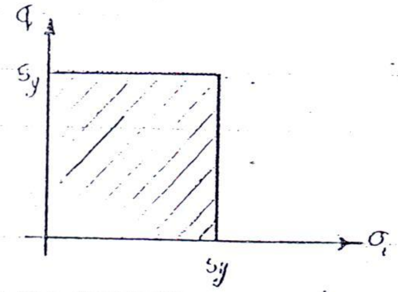
استحکام برشی در معیار ترسکا در آزمایش کشش ساده:



$$\tau_{Max} = \frac{\sigma_1}{2}$$

معیار ترسکا: $\frac{1}{2}\sigma_1 \leq \frac{1}{2}S_y \Rightarrow \sigma_1 \leq S_y$

یا در حالت کلی: $\sigma_2 \leq S_y$

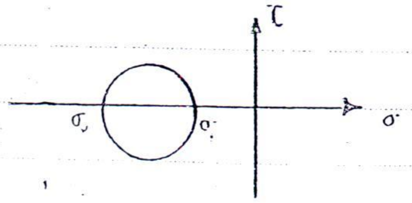


با توجه به استدلال های بالا داخل مربع بوده و منظور این

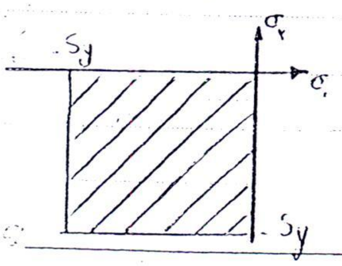
و جسم جایی شکست دارد اگر با آزمایش اثبات شده است

ولی ترسکا در نظریه ی خود می گوید در خارج این ناحیه جسم

می شکند. آزمایش ها این نتایج را رد می کند

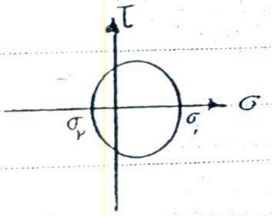


اگر جسم تحت فشار باشد در ناحیه ۳ [illegible]



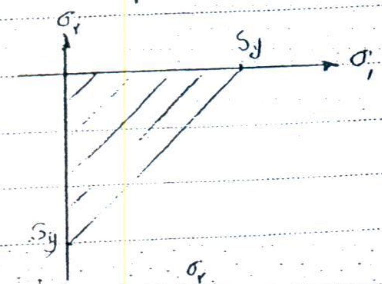
$$\tau_{Max} = \frac{1}{2} Max(|\sigma_1|, |\sigma_2|)$$

Subject
Date



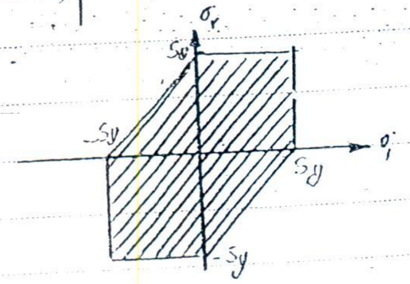
حدوداً اگر ترسکای گولاد داخل این مربع جسم خرابی نمی‌کند.

برای نواحی ۲ و ۴ مشابه به هم داریم:



$$\tau_{Max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \Rightarrow \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \leq \frac{1}{2} S_y$$

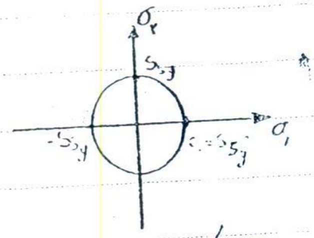
$$\sigma_1 - \sigma_2 \leq S_y$$



پس از تکمیل شکل ۴ ناحیه به یک شش ضلعی می‌رسیم

براساس معیار ترسکا داخل این شش ضلعی مکان امن است و ماده نمی‌شکند. معیار ترسکا یک معیار محافظه‌کارانه است.

حال اگر آزمایش پیچش خالص را انجام دهیم:



$$S_{sy} - (-S_{sy}) = S_y \Rightarrow S_{sy} = \frac{1}{2} S_y$$

براساس معیار ترسکا نقطه تسلیم در برش خالص نصف تسلیم در کشش ساده است (آزمایش‌ها نشان داده‌اند که S_{sy} کمی بیشتر از نصف S_y است)

نظریه ون مایزز: این نظریه مربوط به مواد چکش‌خوار است. طبق این نظریه تنش باعث شکست نمی‌شود. بلکه این انرژی است که باعث شکست می‌شود.

PAPCO

Subject
Date

$u=\frac{1}{2}\int\sigma d\epsilon=\frac{1}{2E}(\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2-2\nu(\sigma_1\sigma_2+\sigma_1\sigma_3+\sigma_2\sigma_3))$ ✓

ون مایزز گفت که انرژی ذخیره شده در جسم صرف تغییر حجم و تغییر شکل می شود:

$u=u_v+u_d$ و $u_v=\frac{3\sigma_{ave}^2}{2E}(1-2\nu)$ و $\sigma_{ave}=\frac{1}{3}(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)$

ون مایزز معتقد بود که فقط انرژی که باعث تغییر شکل می شود صرف شکست جسم می شود.

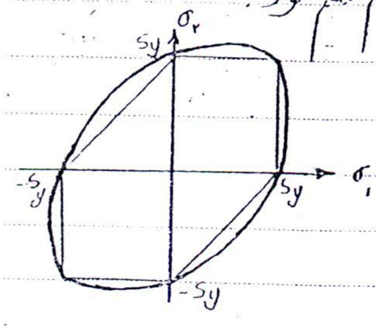
$u_d=u-u_v=\frac{1+\nu}{3E}((\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2)/2$ ✓

ون مایزز گفت که برای اینکه جسم نشکند مقدار انرژی باید از مقدار انرژی در آزمایش شکست کمتر باشد.

$\sigma_{vm}^2=\frac{((\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2)}{2}\leq S_y^2$ ✓

در حالت تنش صفحه ای: $\sigma_3=0 \Rightarrow \sigma_1^2+\sigma_2^2-\sigma_1\sigma_2\leq S_y^2$ ✓

طبق نظریه ون مایزز $\sigma_1^2+\sigma_2^2-\sigma_1\sigma_2$ همواره باید کمتر از S_y^2 باشد تا جسم سالم بماند.



$\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau_{xy}^2\leq S_y^2$

معادله ی بدست آمده معادله ی یک بیضی است که طول
تنش عملی بر سطح انرژی کرد مقدار ون مایزز یک مقدار
ثابت است آزمایش ها نشان می دهد داخل این بیضی امن و خارج آن ناامن است

PAPCO

$(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_x-\sigma_z)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+6(\tau_{xy}+\tau_{yz}+\tau_{xz})\leq 2\sigma_Y^2$

Subject
Date

برای پیچش خالص:

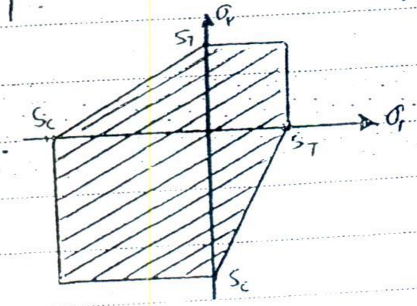
$\sigma_1 = S_{sy}$

$\sigma_2 = -S_{sy}$

$\xRightarrow{\text{جاگذاری}} 3S_{sy}^2 < S_y^2 \rightarrow S_{sy} < 0.577 S_y$

که در آزمایش‌ها نزدیک به این است

اگر آزمایش‌های بالا همگی زمانی کاربرد دارند که مقاومت جسم در برابر فشار و کشش یکسان باشد. اگر جسم چنین نباشد از معیار کولمب - مور استفاده می‌کند



معادله‌ی معرف این شکل عبارت است از:

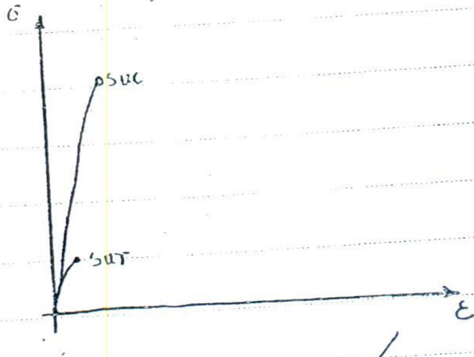
$$\frac{\sigma_{Max}}{S_T} - \frac{\sigma_{min}}{S_C} = 1$$

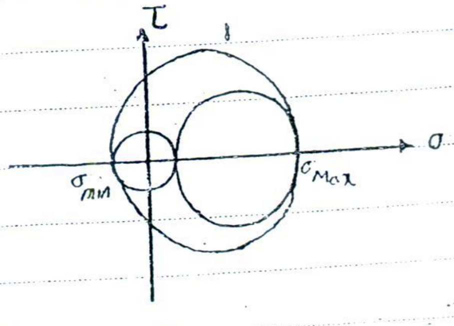
باید توجه شود که در ناحیه اول $\sigma_{min} = 0$ و در ناحیه سوم $\sigma_{Max} = 0$ است

با جاگذاری در معادله‌ی بالا برای پیچش خالص داریم:

$$S_{sy} = \frac{S_T \times S_C}{S_T + S_C}$$

تئوری ماکزیمم تنش اصلی: این معیار برای مواد ترد می‌باشد:

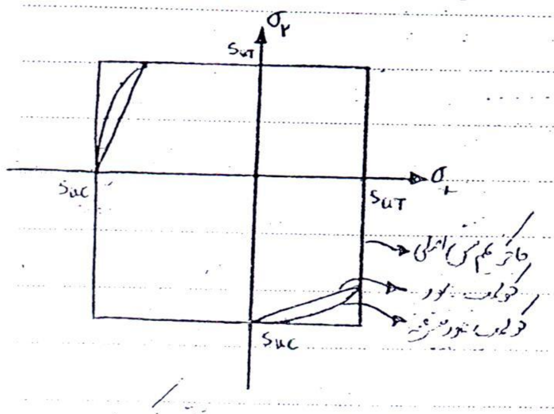




این معیار دقیق نیست به همین دلیل کولمب و مور آن را اصلاح کردند.

Subject
Date

نظریه کولمب-مور و کولمب-مور تغییر یافته: این دو معیار نیز برای مواد ترد می باشد. در معیار تنش ماکزیمم اصلی در ناحیه ها اگر نقاط در دو قسمت انتهایی می نشستند. پس معیار کولمب-مور ارائه شد. کولمب-مور از این لحاظ که داخلش امن است صحیح است ولی اینکه بیرونش ناامن است صحیح نیست. لذا معیار کولمب-مور تغییر یافته ارائه شد که مطابق شکل نتایج تجربی کمی را استنادی می کند.



معادله سهمی: $\frac{\sigma_A}{\sigma_{uT}} - \left(\frac{\sigma_B - \sigma_{uT}}{S_{uc} - S_{uT}}\right)^2 = 1$

در مواد ترد معمولاً عامل محدود کننده خرابی است ولی ضریب اطمینان روی تنش ها بالا است ولی روی ضریب بار لزوماً نمی شود.

معیار شکست

$$\frac{P_2}{P_1} = n \Rightarrow \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = n \Rightarrow \frac{S_y}{\sigma} = n$$

(P_1: بار)

اگر رابطه‌ی تنش و بار خطی باشد می توان برای ضریب اطمینان از رابطه بالا استفاده کرد

اگر تنش‌های ثابت داشته باشیم و رابطه غیرخطی باشد نمی توان از روابط فوق استفاده کرد که n را نسبت به P بدهد

مثلاً: $P_2 = P_0 + nP_1$

Subject

Date ۸۷ / ۱۲ / ۱۲

I) یکی از حالت های عدم توفیق تسلیم است. II) ممکن است بار خیلی کمتر از تسلیم باشد ولی به علت ترک ماده شکسته شود (Fracture) III) ممکن است قطعه در طول زمان در یک بارگذاری ثابت از هم بپاشد (Creep) IV) ممکن است جسم به علت تکرار بارگذاری بشکند در این حالت بار خیلی کمتر از تسلیم است (خستگی)

خستگی (Fatigue)

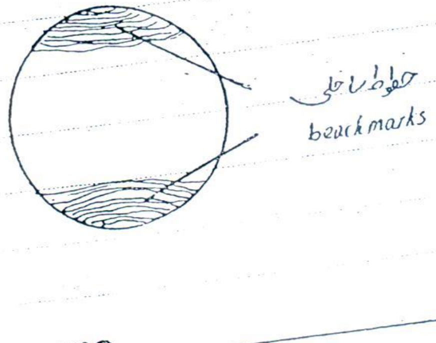
خستگی عبارت است از شکست قطعات در اثر بارهای تکراری.

مراحل خستگی

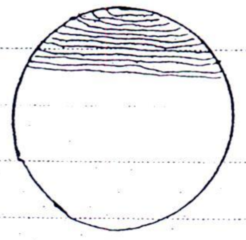
۱. به خاطر تکرار بارگذاری در نقاط مستعد قطعه ترک های میکروسکوپی ایجاد می شود (ایجاد ترک) ۲. رشد ترک: ترک از حد دانه ای با جنس دانه ای است و بستگی به تعداد دفعات بارگذاری دارد ۳. شکست ناگهانی: آن قسمت هایی که اول ترک خورده و نیروی خورده اند در اثر سائش بر همدیگر براق تر هستند ولی قسمت های انتهایی که ناگهان شکسته اند کدر می مانند

خستگی پدیده ای است که با کشش آشکار می شود

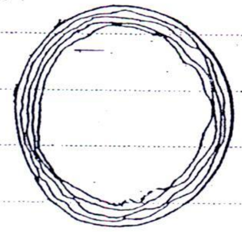
در واقع ترک در اثر کشش باز می شود در فشار



PAPCO



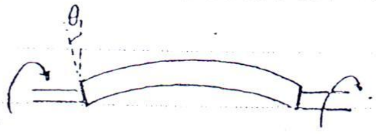
در شکل مقابل میله تحت کشش یک طرفه بوده و یا شاید تحت فشار بوده که در آن هیچ ترکی ایجاد نشده است



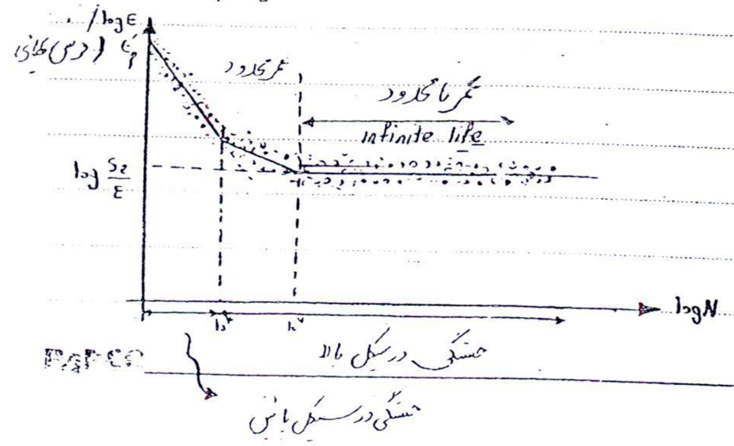
شکل مقابل نمایی را نشان می دهد که تحت خمش بوده است و در حال چرخیدن است پس همه ی نقاط محیط تحت کشش و فشار هم را داشته اند.

آزمایش خستگی

I) آزمایشی که در حین بارگذاری قطعه آن را می چرخانند که این آزمایش بیشتر آزمایش های خستگی معمول تر است. در این آزمایش قطعه را به نظام بسته و آن را نسبت به خط قائم دوران می دهیم و سپس آن را می چرخانیم



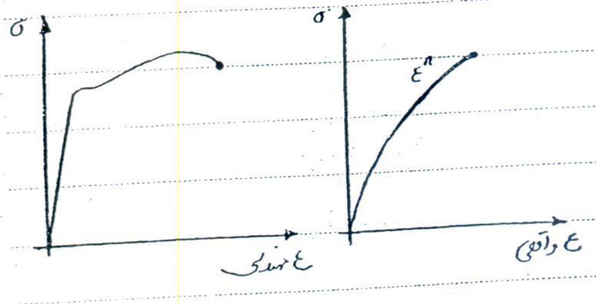
II) بارمحوری: برای این آزمایش می توان نمودار log N - log ε را به صورت زیر رسم کرد.



در شکل روبه رو S_e استحکام حد دوام نام دارد. این نمودار برای فولادها است از پس نقاط حاصل از

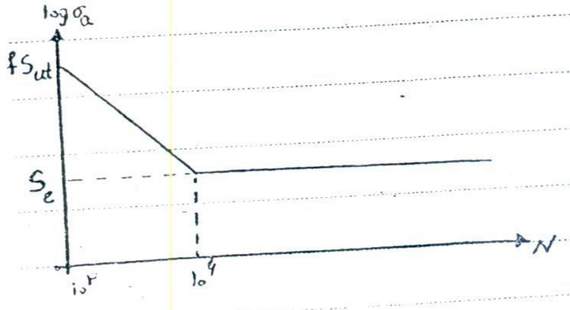
Subject
Date

آزمایش می‌توان سه خط راست عبور داد. می‌توان قسمت اول منحنی را الاستیک و قسمت دوم را الاستیک در نظر گرفت

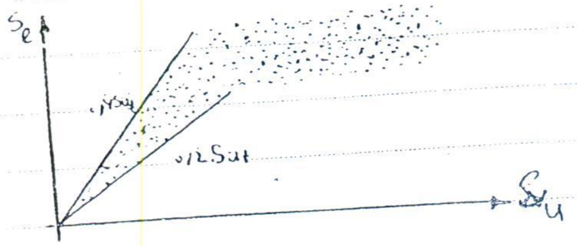


منحنی S_N

استحکام ماده را در برابر خستگی و در برابر سیکل منحنی نشان می‌دهد.



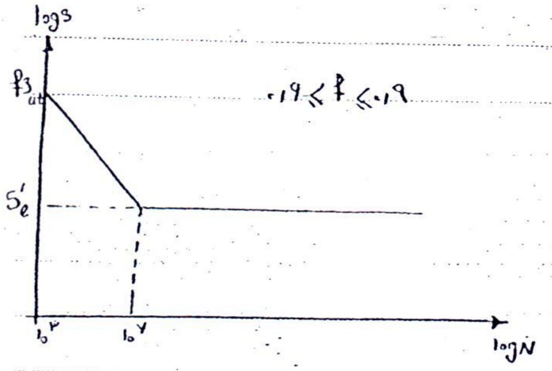
S_e یکی از خواص ماده است که بستگی به نوع ماده و عملیات حرارتی دارد.



برای S'_e فولادها داریم:

$$\begin{cases} S'_e = 0{,}504\,S_u & S_u < 1460\,MPa \\ S'_e = 740 & S_u > 1460\,MPa \end{cases}$$

به دلیل تفاوت بین استحکام حد دوام که در آزمایشگاه به دست می‌آید با آنچه در صنعت واقعاً دیده می‌شود S'_e را تعریف کرده‌اند (S'_e در آزمایشگاه به دست می‌آید) S_e از ضرب کردن یک سری ضرایب اصلاحی در S'_e به دست می‌آید.



استحکام خستگی در عمر محدود

$$\log S_f = b \log N + c$$

اگر $c = \log a$ فرض کنیم آنگاه:

$$S_f = aN^b$$

دو نقطه از معادله خط را داریم پس:

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S'_e} \qquad b = -\frac{1}{3}\log\frac{f S_{ut}}{S'_e}$$

f از دو طریق به دست می آید:

I) از طریق آزمایش و II) با استفاده از استانداردها و منحنی f

$$f = \frac{\sigma'_F}{S_{ut}}(2\times10^3)^b$$

σ'_F از کارهای تجربی به دست می آید:

SAE تجربی: $\sigma'_F = S_{ut} + 345\ \text{MPa}$

$$b = -\frac{\log(\frac{\sigma'_F}{S_e})}{\log(2N_e)}$$

N_e: 10^6

Subject
Date ۸۶ / ۱۲ / ۱۴

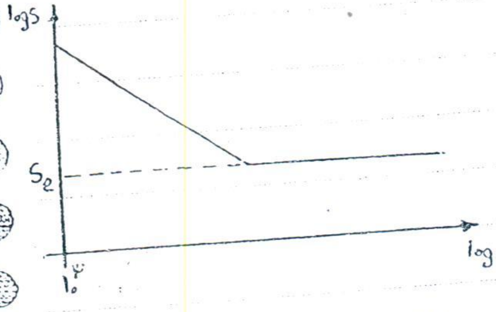
مثال: یک فولاد آلیاژی با استحکام نهایی $S_{ut}=780\,MPa$ داریم. الف) استحکام حد دوام این فولاد چقدر است؟ ب) عمر قطعه تحت یک بار نوسانی با دامنه $\sigma_a=300\,MPa$ چقدر است؟ همچنین عمر قطعه برای $\sigma=480\,MPa$ را نیز بدست آورید. ج) حداکثر دامنه برای اینکه قطعه 10^5 سیکل عمر کند چقدر است؟

الف) استحکام حد دوام آزمایشگاهی از رابطه $S'_e=0.504\,S_{ut}$ بدست می آید:

$$S'_e = 780\times 0.504 = 393.1\ MPa$$

ب) در مورد بارگذاری اول چون $\sigma_a=300 < S'_e$ است قطعه عمر بی نهایت دارد.

اما در مورد بارگذاری دوم داریم:



$$S_f = aN^b \Rightarrow N=\left(\frac{S_f}{a}\right)^{1/b}$$

$$b=-\log\frac{(\sigma'_f/S_e)}{\log(2N_e)}$$

$$\sigma'_f = S_{ut}+345 = 780+345 = 1125\ MPa \Rightarrow b=-\log\frac{(1125/393.1)}{\log(2\times10^6)} = -0.072$$

$$a=\frac{(f\,S_{ut})^2}{S_e} \Rightarrow f=\frac{\sigma'_f}{S_{ut}}(2\times10^3)^b \Rightarrow f=\frac{1125}{780}(2\times10^3)^{-0.072}=0.83$$

$$a=\frac{(0.83\times780)^2}{S_e} \Rightarrow a=1066.2$$

حال مقدار N را بدست می آوریم:

$$480 = 1066.2\,(N)^{-0.072} \Rightarrow N=60347$$

PAPCO

پس قطعه ۶۰۰۰۰ سیکل عمر می کند (مقدار N به مقدار b خیلی حساس است یعنی b را باید خیلی دقیق بنویسیم ولی به مقدار a زیاد حساس نیست)

ج) $N = 10^5 \Rightarrow S_f = 1066.2 (10^5)^{-0.072} = 462.7\ MPa$

در ناحیه ی خستگی سیکل پائین تقریب استحکام در مقابل طول عمر (با مقدار خطا زیاد):

قبل از 10^3 سیکل: $S_f \geq S_{ut} N^{\frac{(\log f)}{3}}$

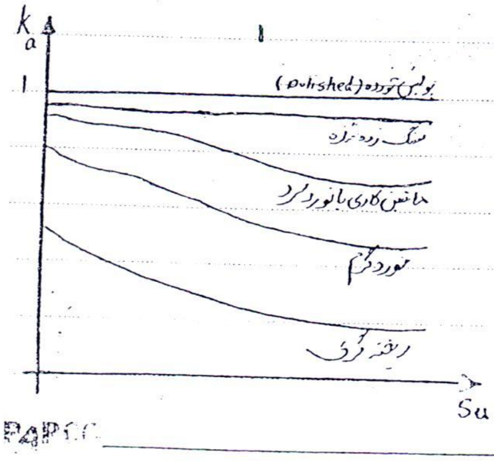
تصحیح استحکام حد دوام.

از آزمایش تیر دوار S'_e به دست می آید ولی این S'_e با استحکام حد دوام واقعی تفاوت هایی دارد.

دلیل این تفاوت ها در روش ساخت، محیط کار، طرح قطعه و ... می باشد. S'_e را با روابط زیر تصحیح می کند:

$$S_e = S'_e \{k_a k_b k_c k_d k_f\}$$

k_a یا ضریب سطح (Surface factor) —



وقتی سطح قطعه پولیش خورده باشد $k_a = 1$ است.

چون در این صورت قطعه ی ما با قطعه ای که در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می گیرد تفاوتی ندارد. هر چه

PAPCO

Subject

Date

استحکام قطعه بیشتر شود k_a کمتر می شود چون حساسیت قطعه بالا می رود و باید بیشتر استحکام حد دوام را کم کند. برای k_a رابطه زیر وجود دارد:

$$k_a = a S_{ut}^{b}$$

که در آن a و b از جداول به دست می آید.

k_b یا ضریب اندازه (Size factor)

قطعه ای که در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می گیرد قطرش در حدود ۵ تا ۶ میلی متر است. برای یک قطعه واقعی هر چه سطح قطعه (قطر آن) بیشتر شود بدین منظور برای تصحیح S_e' ضریب k_b را در نظر گرفته اند:

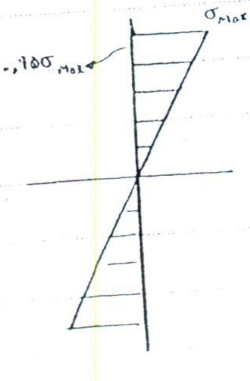
$k_b = 1$ $d < ۳$

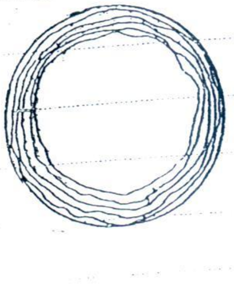
$k_b = 1.24\, d^{-0.107}$ $۳ \leq d \leq ۵۱$

$k_b = 1.51\, d^{-0.157}$ $۵۱ \leq d \leq ۲۵۴$

در این روابط فرض بر گرد بودن و در حال دوران تحت خمش بودن قطعه است.

اگر شرایط آزمایشگاهی را نداشته باشیم یعنی مثلاً بار غیر متعادل، بارگذاری غیر خمشی و میله ای غیر دوار باشد قطر معادل محاسبه شود و در رابطه k_b جاگذاری شود. ناحیه ای که تا ۰٫۹۵ تنش حداکثر را تحمل می کند ۰٫۲ تا ۰٫۹۵۲ می باشد پس:

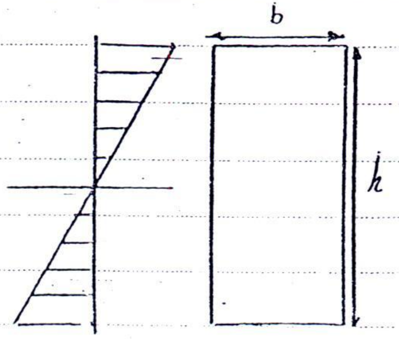




PAPCO

$A_{95} = \frac{\pi}{4}\left(d^2 - (0.95d)^2\right) = 0.0766 d^2$

در هر قطعه با شرایط غیر مشابه با قطعه‌ی آزمایشگاهی A_{95} آن قطعه را محاسبه شود و با $0.0766 d^2$ برابر قرار گیرد تا قطر معادل به دست آید.



مثال: برای شکل روبه‌رو قطر معادل را به دست آورید:

$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M\frac{h}{2}}{b\frac{h^3}{12}}$

σ_{Max} در $\frac{h}{2}$ رخ می‌دهد پس $0.95\sigma_{Max}$ در $0.95\frac{h}{2}$ رخ می‌دهد:

$A_{0.95} = b\left(2 \times 0.05 \frac{h}{2}\right) = 0.05\, bh$

$A_{0.95} = 0.0766 d^2 = 0.05\, bh \Rightarrow d = \sqrt{0.653\, bh}$

k_c یا ضریب بار (load factor)

- بار خمشی: 1
- بار محوری: 0.85
- بار پیچشی: 0.59

k_d یا ضریب درجه حرارت (temprature factor)

اگر S_{ut} در دمای کاری معلوم و S'_e در دمای آزمایشگاهی داده نشده باشد آنگاه [illegible] ۲۵٫۰ می‌توان

Subject

Date

k_d را برابر یک در نظر گرفت)

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

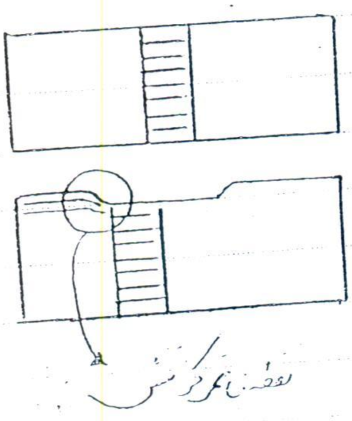
(S_T: دمای کاری، S_{RT}: دمای اتاق)

اگر فقط S_{ut} را در دمای آزمایشگاهی داده باشد در آن صورت باید $\frac{S_T}{S_{RT}}$ را در S_{ut} ضرب کنیم (در جاهای دیگر نباید S_{ut} را اصلاح کنیم ولی عملاً در جاهای دیگر این کار را می کنیم و فقط در این جا این کار را می کنیم)

k_e یا ضریب قابلیت اطمینان (Reliability factor)

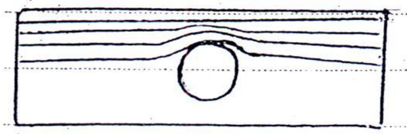
k_f یا ضریب سایر اثرات (miscellaneous effects factor)

مواردی که این ضریب می تواند در بر گیرد عبارت است از: خوردگی ها، پوشش های سطحی، اثرات اصطکاک، تمرکز تنش و ...



در طراحی اساسی قطعات باری که در نظر گرفتن ضریب تمرکز تنش در مواد خیلی ضروری است. اگر مقطع طی نوار دار تحمل بار را بکند قطعه سالم می ماند ولی در مورد مواد ترد در هر حال باید ضریب تمرکز تنش را در نظر گرفت.

Subject
Date (۱۵)



در مطالعات خستگی ضریب تمرکز تنش خستگی به شکل زیر تعریف می‌شود: $k_f = 1 + q(k_t - 1)$ در کشش

k_t ضریب تمرکز تنش استاتیکی در کشش است و q ضریب حساسیت به خراش (factor notch sensitivity) می‌باشد.

$k_f = 1 + q_s(k_{t_s} - 1)$ در برش

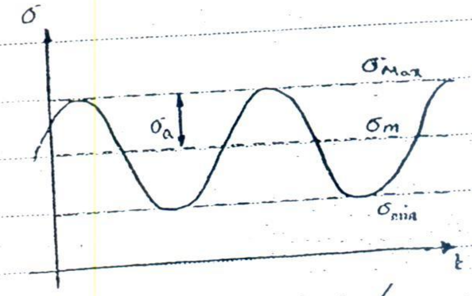
در اثر وجود تمرکز تنش استحکام های پایین می‌آید هر چه استحکام بیشتر باشد حساسیت به خراش بیشتر می‌شود.

Subject
Date ۸۶ / ۱۲ / ۱۹

بیشترین مقدار تنش در یک دوره را σ_{Max}

و کمترین مقدار تنش در یک دوره را σ_{min}

می نامیم. داریم:

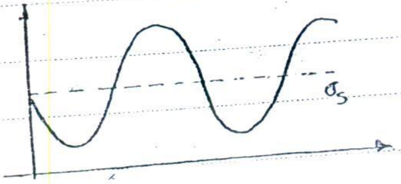


دامنه ی نوسان: $\sigma_a = \frac{\sigma_{Max} - \sigma_{min}}{2}$

تنش میانگین: $\sigma_m = \frac{\sigma_{Max} + \sigma_{min}}{2}$

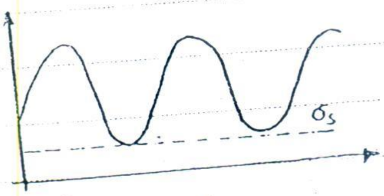
وقتی یک بار ثابت را در نوسان کردن روی جسم داشته باشیم یک تنش دائمی به خاطر آن داریم

که آن را σ_s می نامیم. σ_s هم می تواند σ_{min} باشد



و هم می تواند برابر σ_m باشد. در نهایت r را به

صورت زیر تعریف می کنیم:



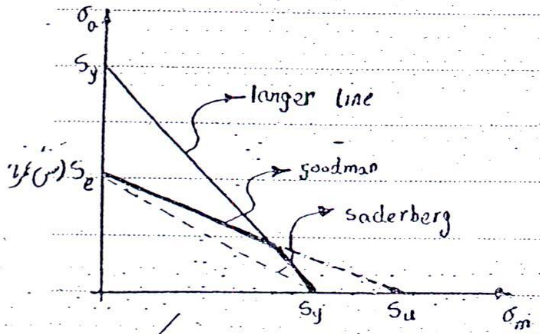
$$r = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

به کمک σ_a و σ_m می توان تعیین کرد که جسم می شکند یا خیر. در صورت شکست، استاتیکی می شکند یا در اثر خستگی. عمر قطعه محدود است یا نامحدود و در صورتی که عمر قطعه محدود است چقدر عمر می کند یا چقدر از عمر قطعه باقی مانده است.

تئوری های مربوط به مواد چکش خوار (مثلث خستگی)

اگر جسم نخواهد استاتیکی بشکند باید:

$\sigma_{Max} > S_y \Rightarrow \sigma_m + \sigma_a > S_y \rightarrow$ langer line.



تئوری سادربرگ: این تئوری یک تئوری محافظه‌کارانه است. سادربرگ گفت اگر مطابق شکل نقطه‌ای درون خط سادربرگ باشد نمی‌شکند و اگر بیرون خط باشد می‌شکند ممکن است دلیل این شکست خستگی باشد یا در اثر بارگذاری استاتیکی.

معادله‌ی خط سادربرگ عبارت است از:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = 1$$

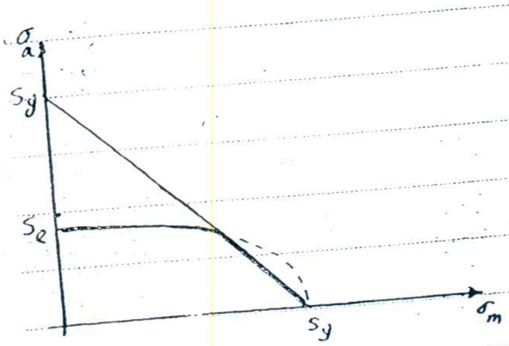
تئوری گودمن: طبق تئوری گودمن برای آنکه جسم نشکند باید هر دو معادله‌ی روبرو کمتر از یک باشند.

$$\begin{cases} \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \\ \frac{\sigma_a}{S_y} + \frac{\sigma_m}{S_y} = 1 \end{cases}$$

خط گودمن از S_e به S_{ut} می‌باشد. اما می‌دانیم در محدوده‌ی زیر این خط و بالای langer line جسم در بارگذاری استاتیکی می‌شکند. لذا گودمن برای تصحیح تئوری خود گفت اگر خط گودمن در جایی بالاتر از langer line قرار گرفت ادامه‌ی خط گودمن بر روی langer line می‌باشد. این تئوری دقت بیشتری دارد.

Subject
Date

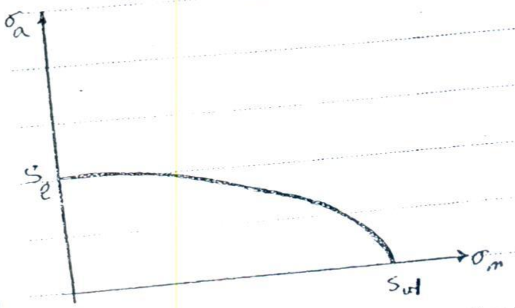
نظریه ASME:



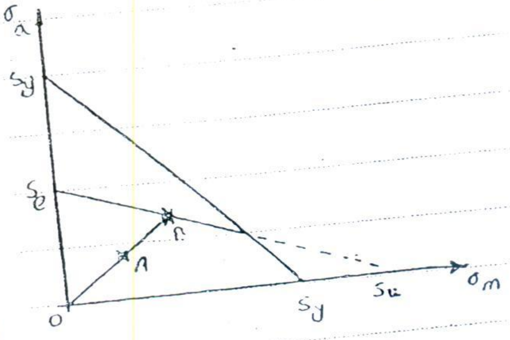
معادله‌ی بیضی ASME: $\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2+\left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2=1$

ملاحظه می‌شود که در بعضی نقاط بیضی ASME بالای langer line می‌افتد که برای تصحیح آن از روی همان روش خودمان استفاده می‌کنیم.

نظریه Gerber:



سهمی Gerber: $\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)+\left(\frac{\sigma_m}{S_u}\right)^2=1$

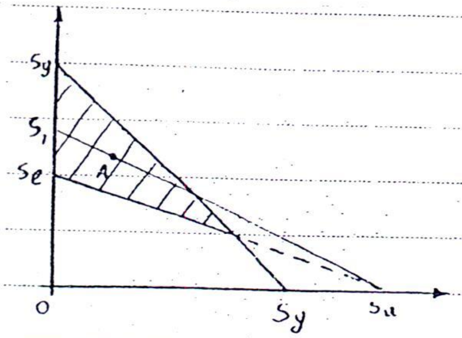


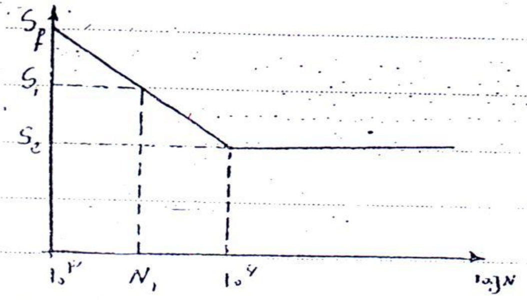
اگر بتوانیم بگوییم σ_a و σ_m متناسب با بارگذاری است ضریب اطمینان به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\sigma_m , \sigma_a \propto P \Rightarrow n=\frac{OB}{OA}$$

اگر B به جای آن که روی خودش را قطع کند langer line را قطع کند جسم در اثر بار استاتیکی می‌شکند.

PAPCO





حال اگر نقطه‌ی A در سطح هاشور خورده قرار گیرد

این جسم دچار بارگذاری استاتیکی نمی‌شود بلکه

دچار خستگی می‌شود. برای به دست آوردن عمر

جسم، از S_u به A یک خط وصل می‌کنیم و آن

را امتداد می‌دهیم تا محور S_a را در S_1 قطع کند و پس

به کمک مقدار S_1 در نمودار S-N مقدار عمر

قطعه را به دست می‌آوریم

چند نکته

۱- S_e های به دست آمده مورد استفاده برای خمش است

۲- برای استفاده از k_f و k_{fs} اندازه تنش‌ها را در این ضرایب ضرب می‌کنیم و مقداری که استفاده

می‌کنیم. مقدار ضریب تمرکز تنش که باید به کار

می‌بریم در هر حالت به شرح زیر است:

$$
\begin{cases}
k_f & k_f(\sigma_{max}) < S_y \\
\dfrac{S_y - \sigma_a \times k_f}{\sigma_m} & k_f(\sigma_{max}) > S_y \\
0 & k_f \times \sigma_a > S_y
\end{cases}
$$

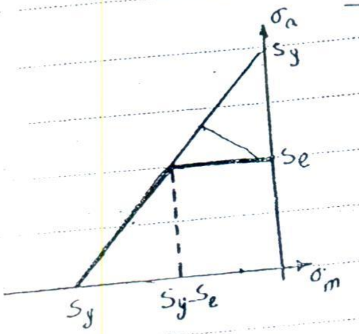
Subject
Date

۳- اگر σ در اثر خمش نباشد و در اثر نیروی محوری باشد آنگاه باید σ را بر k_c تقسیم کنیم یعنی

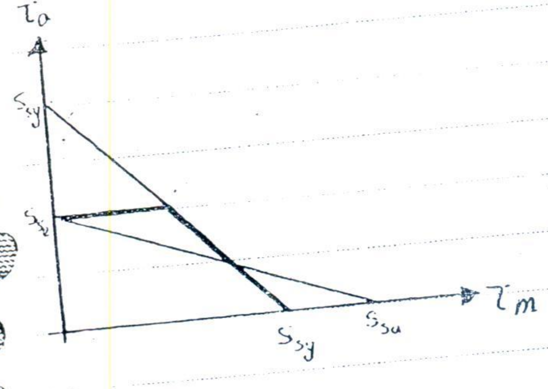
$\frac{\sigma}{k_c}$ ($k_c = 0.85$)

۴- اگر در مسأله σ_m و τ_m را هم با σ_a و τ_a را هم داشتیم به کمک دایره‌ی موهر تنش‌های اصلی را بدست می‌آوریم و با معیارهای خستگی مقایسه می‌کنیم

اگر جسم به جای کشش تحت فشار باشد یک نمودار وجود دارد که عبارت است از:



برای برش خالص:

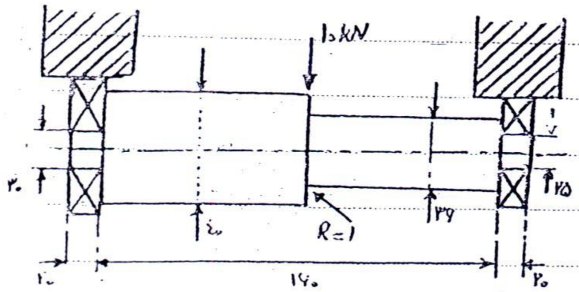


PAPCO

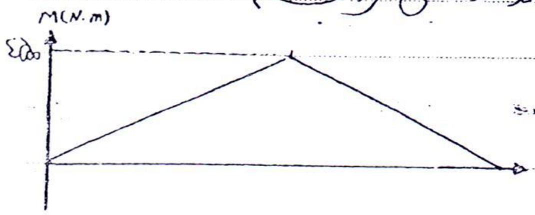
Subject

Date ۸۶ / ۱۲ / ۲۱ (۱۸)

مثال: ضریب اطمینان شافت روبرو را در حالت خستگی و در حالت بارگذاری استاتیکی محاسبه کنید. می دانیم ضریب قابلیت اطمینان $R=90\%$ است و $S_u=620\,MPa$ می باشد. شافت روبرو با ماشینکاری ساخته شده است و $\varepsilon_p=9\%$ است (واحد اعداد طولی میلیمتر است)



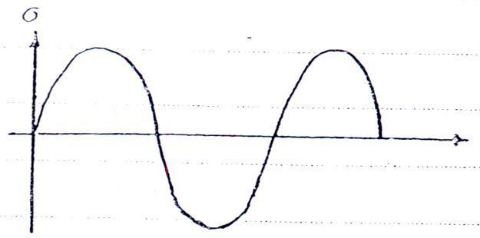
می توان این مسأله را با یک تیر مدل کرد.



$$M_{max}=\frac{5\times10^3\times90}{1000}=450\,N.m$$

$$\sigma=\frac{MC}{I}=\frac{M\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}=\frac{32M}{\pi d^3}$$

در جاهایی که تغییر سطح مقطع داریم تمرکز تنش وجود دارد. تنش در دو طرف



$$\sigma_a=\frac{32M}{\pi d^3}=\frac{32\times450}{\pi\times(0.036)^3}=98.2\,MPa$$

می خواهیم S_e را بدست آوریم:

$$S_e=S'\{k_a\cdot k_b\cdot k_c\cdot k_d\cdot k_e\cdot k_f\}$$

$$S'=0.504\,S_u=0.504\times620=312.5\,MPa$$

$$k_a=a\,S_{ut}^{\,b}\ \underset{\text{با استفاده از جدول}}{=}\ 4.51(620)^{-0.265}=0.82$$

Subject

Date

شرایط مساله مانند تمرین دو است پس لازم نیست قطر معادل بدست آوریم:

$۳ \leq d \leq ۵۱ \Rightarrow k_b = ۱٫۲۴ \times d^{-۰٫۱۰۷} = ۱٫۲۴(۳۶)^{-۰٫۱۰۷} = ۰٫۸۴$

چون تحت خمش است لذا:

$k_c = 1$

دما در دمای محدوده دمای اتاق منظور می شود:

$k_d = 1$

$R = ۹۰\% \xrightarrow{\text{از جدول}} k_e = ۰٫۸۹۷$

چون اثر سایر اثرات تصحیح نشده است:

$k_f = 1$

$S_e = ۳۱۲٫۵ \{ ۰٫۸۲ \times ۰٫۸۴ \times 1 \times 1 \times ۰٫۸۹۷ \times 1 \} = ۱۹۳ \, MPa$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \xrightarrow{\text{از جدول}} k_t : \begin{cases} \frac{r}{d} = \frac{1}{۳۶} = ۰٫۰۲۷ \\ \frac{D}{d} = \frac{۴۰}{۳۶} = ۱٫۱۱ \end{cases} \Rightarrow k_t = ۲٫۱$$

$$q : \begin{cases} S_u = ۰٫۶ \, GPa \\ r = 1 mm \end{cases} \Rightarrow q = ۰٫۷۵$$

$$\Rightarrow k_f = 1 + ۰٫۷۵(۲٫۱ - 1) = ۱٫۸۲$$

$$n_1 = (FS)_f = \frac{S_e}{\sigma_a} = \frac{S_e}{k_f \sigma_a} = \frac{۱۹۳}{۱٫۸۲ \times ۹۸٫۲} = ۱٫۰۸$$

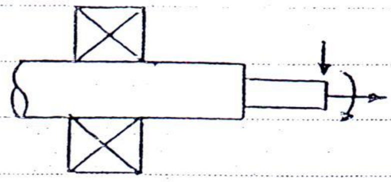
از جدول فولاد $\Rightarrow S_y = ۵۰۰ MPa \Rightarrow n_2 = (FS)_s = \frac{S_y}{\sigma_0} = \frac{۵۰۰}{۹۸٫۲} = ۵٫۰۹$

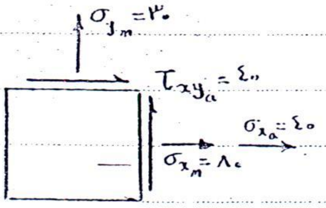
چون n_1 تقریبا برابر یک است پس می توانیم انتظار داشته باشیم چون عضو دچار خستگی می شود.

با مقایسه n_1 و n_2 در می یابیم که احتساب خستگی بسیار مهم است.

PAPCO

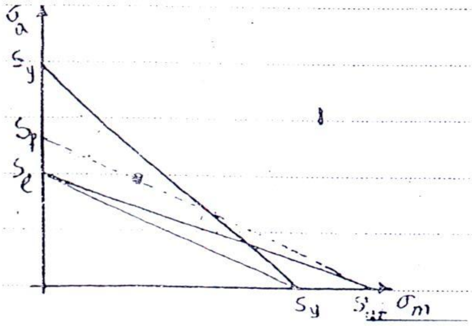
مثال: المانی مطابق شکل روی سطح یک شافت تحت بارگذاری متناوب روبرو است. می‌دانیم در این المان $k_f=1.81$ و $k_{fs}=1.63$ است. ویژگی های ماده نیز عبارت است از: $S_e=120$ و $S_y=360$ و $S_{ut}=480$ است. عمر این المان را بدست آورید.





$$\sigma'_a:\begin{cases}\sigma_{x_a}=40\\ \tau_{xy_a}=40\end{cases} \Longrightarrow \sigma'_a=\sqrt{(k_f\sigma_{xa})^2+3(k_{fs}\tau_{xy_a})^2}=\sqrt{(1.81\times40)^2+3(1.63\times40)^2}=134.1\,MPa$$

$$\sigma'_m:\begin{cases}\sigma_{x_m}=80\\ \sigma_{y_m}=30\end{cases} \Longrightarrow \sigma'_m=\sqrt{(k_f\sigma_{x_m})^2+(k_f\sigma_{y_m})^2-k_f^2(\sigma_{x_m}\sigma_{y_m})}=1.81\sqrt{80^2+30^2-30\times80}=126.7\,MPa$$



$$\sigma'_{Max}=\sigma'_a+\sigma'_m=134.1+126.7=260.8<S_y$$

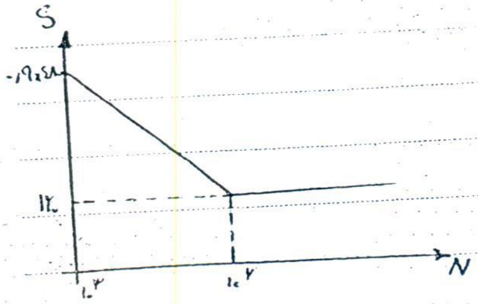
با استفاده از معیار گودمن:

$$\frac{\sigma'_a}{S_f}+\frac{\sigma'_m}{S_{ut}}=1$$

$$S_f=\frac{\sigma'_a}{1-\frac{\sigma'_m}{S_{ut}}}=\frac{134.1}{1-\frac{126.7}{480}}=182$$

Subject

Date



$$a = \frac{(f S_u)^2}{S_e} = \frac{(0.9 \times 480)^2}{120} = 1555$$

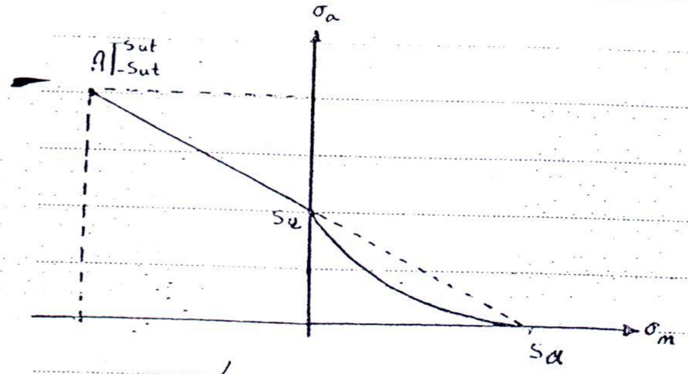
$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{f S_u}{S_e} = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9 \times 480}{120} = -0.1855$$

$$N = \left(\frac{S_f}{a}\right)^{-\frac{1}{b}} = \left(\frac{188.2}{1555}\right)^{-\frac{1}{0.1855}} = 108000 \text{ cycle}$$

PAPCO

Subject
Date ۸۹ / ۱۲ / ۲۶ (۲)

تئوری مربوط به مواد ترد



$$\frac{S_a}{S_e} = \frac{1 - \frac{S_m}{S_u}}{1 + \frac{S_m}{S_u}}$$

مواد ترد نسبت به مواد چقرمه حساس‌تر به

چرخش و کشش حساس‌تر هستند.

S_e که برای مواد ترد داده می‌شود در k_a و k_b ضرب شده است لذا برای استفاده از آن باید در k_c و k_d و k_e و k_p ضرب شود. S_e برای مواد ترد معمولاً یک عدد کوچک است و کار کردن با مواد ترد در ناحیه‌ای است که زیر منحنی متصل از S_e به S_{ut} است تحت می‌باشد. برای همین اندازه تنش فشاری روی آن ایجاد می‌کنیم تا کران بالای منحنی بالاتر بیاید و بعد با آن کار می‌کنند.

تئوری واینر (جمع آثار)

مثال: عمر قطعه‌ای با تنش‌های زیر را بدست آورید: $\sigma_1 = 400\ MPa$ و $S_e = 300\ MPa$ و $S_u = 800\ MPa$

$$S_f = aN^b \Rightarrow b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{fS_u}{S_e}\right) \overset{f=0.9}{=} -0.127$$

$$a = \frac{(fS_u)^2}{S_e} = \left(\frac{(0.9\times 800)^2}{300}\right) = 1730\ MPa$$

$$\Rightarrow N_1 = \left(\frac{\sigma_1}{a}\right)^{1/b} = 10.3\times 10^3 \text{ دور}$$

حال اگر یک قطعه مقداری از عمر خود را طی کرده باشد و تحت تنش دیگری قرار گیرد عمر باقیمانده را

Subject
Date

به کمک تئوری ماینر دست می‌آوریم طبق این تئوری:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = C \qquad (0.7 < C < 2.2)$$

در روابط بالا معمولاً $C=1$ در نظر گرفته می‌شود.

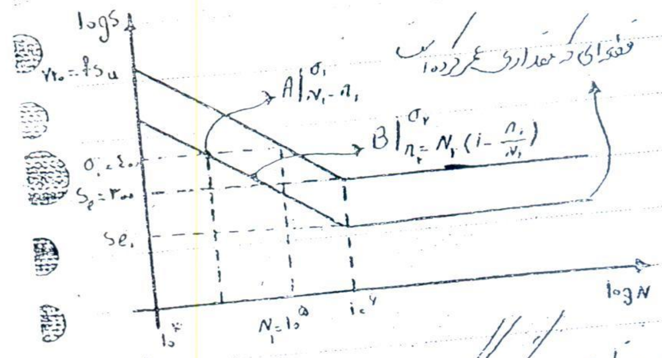
مثال: اگر قطعه‌ی مثال قبل با سرعت $\omega = 100\,RPM$ کار کند و پس از یک روز $\sigma_1 = 400$ به $\sigma_2 = 350\,MPa$ تغییر کند عمر باقیمانده تحت این تنش چقدر خواهد بود

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1 \Rightarrow n_2 = N_2\left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right)$$

$$N_2 = \left(\frac{350}{1742}\right)^{-\frac{1}{0.122}} = 296\times10^3$$

$$\Rightarrow n_2 = 296\times10^3\left(1 - \frac{48000}{130000}\right) = 159\times10^3$$

تئوری ماینر از روی نمودار



نمودار S-N روبرو مربوط به قطعه‌ای است که با عمر اولیه و با عمر دست خورده تحت بارگذاری متفاوت است. در قطعه‌ی دوم یکی از نقاط شکست با تنش قبلی و تعداد سیکل باقی‌مانده است و قطعه‌ی دیگر به کمک تئوری ماینر به دست می‌آید.

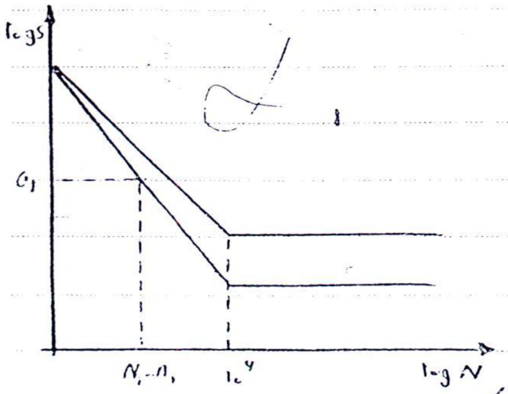
خط تئوری ماینر با خط عمر محدود موازی است زیرا:

$$b=\frac{\log\left(\frac{f S_u}{S_e}\right)}{\log 10^3-\log 10^6}\ ,\quad b'=\frac{\log\sigma_1-\log\sigma_2}{\log(N_1-n_1)-\log\left(N_2\left(1-\frac{n_1}{N_1}\right)\right)}\ ,\quad \sigma_1=aN_1^{\,b}\ ,\quad \sigma_2=aN_2^{\,b}$$

$$\Rightarrow b'=\frac{(\log a+b\log N_1)-\log a-b\log N_2}{\log(N_1-n_1)-\log\left(N_2\left(1-\frac{n_1}{N_1}\right)\right)}=b\,\frac{\log N_1-\log N_2}{\log(N_1-n_1)-\log\frac{N_2}{N_1}-\log(N_1-n_1)}=b$$

یکی از نقاطی که برای ما مهم است نقطه‌ای است که در آن یک میلیون سیکل طی شده است یعنی نقطه‌ای که بعد از آن عمر بی‌نهایت داریم. در نتیجه نقطه‌ی حاصل از تئوری ماینر تنش کمتری در ۱۰۰۰ امین سیکل دارد.

تئوری ماینر یک مشکل دارد. می‌دانیم اگر $\sigma_2 < S_e$ باشد N_2 بی‌نهایت خواهد شد لذا طبق تئوری ماینر جسم تحت بار $\sigma_2 < S_e$ عمر $n_2 = N_2$ را خواهد کرد. حال اگر ترتیب بارگذاری را عوض کنیم جسم تحت تنش σ_2 عمر N_2 را خواهد داشت ولی دیگر نمی‌تواند تحت تنش σ_1 قرار بگیرد زیرا قطعه شکسته است. برای اصلاح این مشکلات در تئوری ماینر، تئوری مانسون مطرح شد.



مثال: مثال قبل را با استفاده از تئوری مانسون حل کنید.

Subject
Date

$fS_u = 720 , \sigma_1 = 400\ MPa \Rightarrow N_1 - n_1 = 103\times10^3 - 48\times10^3 = 55\times10^3$

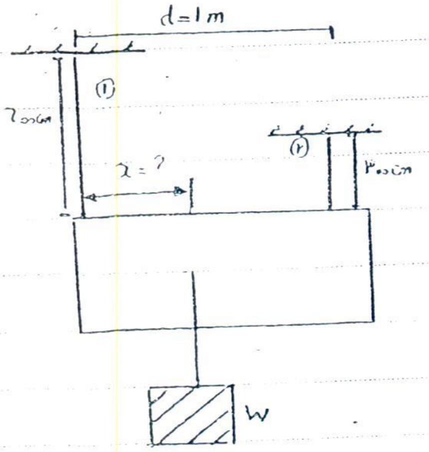
$b_1 = \frac{\log(fS_u) - \log S_1}{\log 10^3 - \log(N_1 - n_1)} = -0.126 \Rightarrow a_1 = \frac{\sigma_1}{(N_1-n_1)^{b}} = 1980\ MPa \Rightarrow$

$n_2 = \left(\frac{\sigma_2}{a}\right)^{1/b_1} = 138\times10^3$

چند مثال:

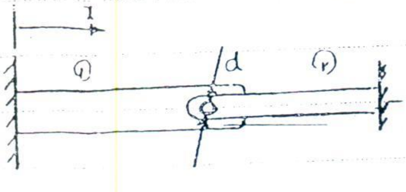
مثال: x را طوری تعیین کنید که پس از آن که وزن W را به سیستم وارد کنید جسم افقی باقی بماند.

$(E_2 = 0.8E_1 \quad , \quad A_2 = 2A_1)$



$$\left.\begin{aligned} \delta_1 = \delta_2 \Rightarrow \frac{F_1 l_1}{A_1 E_1} = \frac{F_2 l_2}{A_2 E_2} \\ \frac{F_1}{F_2} = \frac{d-x}{x} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \dots$$

مثال: دمای مجموعه را ۵۰ درجه کاهش می‌دهیم تعیین کنید مکانیزم سالم می‌ماند یا خیر؟



برای سالم ماندن داریم:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_1} < S_{y_1} , \quad \sigma_2 = \frac{F}{A_2} < S_{y_2} , \quad \tau_{Max} = \frac{4}{3}\frac{F}{A_p} < S_{sy_p}$$

جابجایی‌ها:

$$-\delta_{t_1} + \delta_{F_1} + \delta_{t_2} - \delta_{F_2} = 0$$

PAPCO

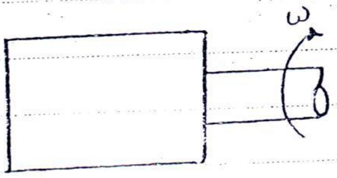
Subject
Date ۸۷ / ۱ / ۱۸ (۲۲)

بررسی قطعات

شافت (Shaft)

یکی از وسایل انتقال توان شافت است در واقع شافت یکی از وسایلی است که انرژی مکانیکی را انتقال می‌دهد.

یادآوری: از دو پارامتر تعیین کننده‌ی انرژی همواره یک معیار را مصرف کننده تعیین می‌کند و یک معیار را تولید کننده. مثلاً در یک موتور الکتریکی بر روی دستگاه ایجاد



$P = T\omega$; $\omega = 200\ rad/s$

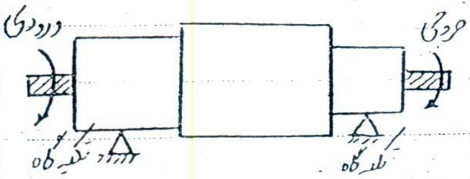
نوشته شده است. این توان خواست که توسط تولید کننده تعیین شده و مقدار آن تقریباً ثابت در اینجا ۲۰۰ rad/s است و حداکثر توان قابل تحمل برای این موتور الکتریکی ۲kW است معیاری که مصرف کننده تعیین می‌کند گشتاور است طبق داده های بالا بیشترین گشتاور قابل تولید توسط این موتور:

$$T_M = \frac{P_M}{\omega} = \frac{2000}{200} = 10\ N.m$$

یا در مثالی دیگر در باتری ولتاژ را تولید کننده تعیین می‌کند و جریان الکتریکی را مصرف کننده تعیین می‌کند.

انتقال انرژی به روش الکتریکی یکی از ساده‌ترین روش های انتقال انرژی در فواصل دور است. در فواصل کوتاه می‌توان از انتقال انرژی به روش مکانیکی استفاده کرد که شافت یکی از این روش ها است. شافت

Subject
Date



را معمولاً از سری Ck می سازند (مثلاً Ck45) حداقل

قطعات سواری روی شافت عبارتند از: ۱- ورودی انرژی

۲- خروجی انرژی ۳- دو تکیه گاه. در تکیه گاه ها از یاتاقان استفاده می شود. هر یاتاقان متناسب با سرعت

دورانی اش انرژی تلف می کند. (تا جایی که می شود باید اصطکاک یاتاقان کم باشد) ورودی و خروجی

انرژی در شافت معمولاً چرخ دنده است. همه ی قطعاتی که روی شافت قرار می گیرند باید تثبیت

محوری شوند. قطعاتی که قرار است انرژی دورانی را انتقال دهند باید علاوه بر تثبیت محوری، تثبیت دورانی

هم شوند. یاتاقان ها و بلبرینگ ها لزومی به تثبیت دورانی ندارند.

روش های تثبیت محوری

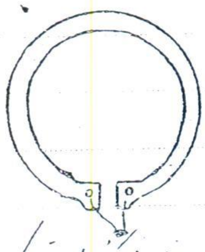
۱- استفاده از پله: پله های روی شافت ساده ترین راه برای تثبیت محوری هستند.

۲- خار فنری: دو نوع خار فنری وجود دارد ۱- خار فنری داخلی ۲- خار فنری خارجی. از خار فنری برای تثبیت محوری

استفاده می شود. ابعاد خار فنری استاندارد است. برای انتخاب

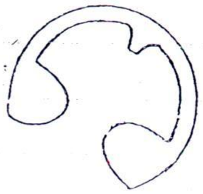
خار فنر شافت مهم است. شیارهای خار فنری باید وارد نقشه شود.

چون خار در قطعاتی استفاده می شود که آنجا نیروی محوری وارد نمی شود،



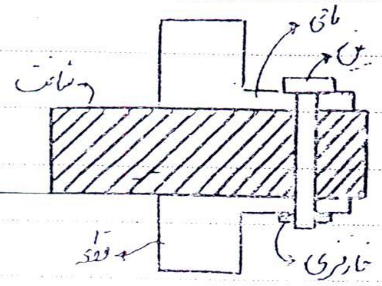
برای ابزار خارکش است که بتواند خار را بگیرد.

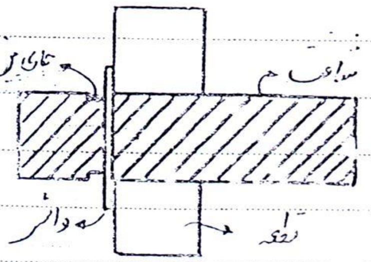
لازم نیست خار قوی باشد. لذا اگر قرار باشد قطعه نیروی محوری هم داشته باشد خار وسیله‌ی خوبی نیست.
جای شیاری که قرار است خار درون آن قرار گیرد با توجه به طول قطعه‌ی روی شافت تعیین می‌شود.
ولی معمولاً دقت به گونه‌ای است که باید لقی به وجود آمده توسط یک قطعه‌ی واشر مانند به نام شیم (Shim)
برطرف گردد. برای این منظور شیار را با بیشترین خطای ممکن برای قطعه‌ی روی شافت به وجود می‌آورند.
سپس قطعه را درون شافت قرار می‌دهند. اگر لقی داشت بین خار و قطعه شیم با ابعاد مناسب را جا
می‌زنند. شیم برای فواصل در ابعاد ۰/۱ میلی‌متر تا ۰/۳ میلی‌متر استفاده می‌شود و واشر برای ۱ میلی‌متر به بالا.



۳- واشر مهره‌ای: با فشار دست دهانه‌ی آن باز و بسته می‌شود و در
شافت قرار می‌گیرد. باز و بسته کردن آن نیاز به ابزار ندارد.

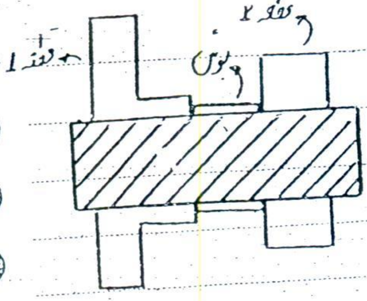
۴- پین: پین‌ها بر دو نوع هستند: ۱- پین استوانه‌ای ۲- پین مخروطی. مزیت پین مخروطی نسبت به پین
استوانه‌ای این است که نیازی به خار فنری در انتهای خود برای جلوگیری از خروج ندارد.



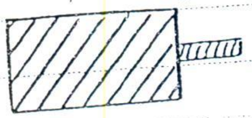


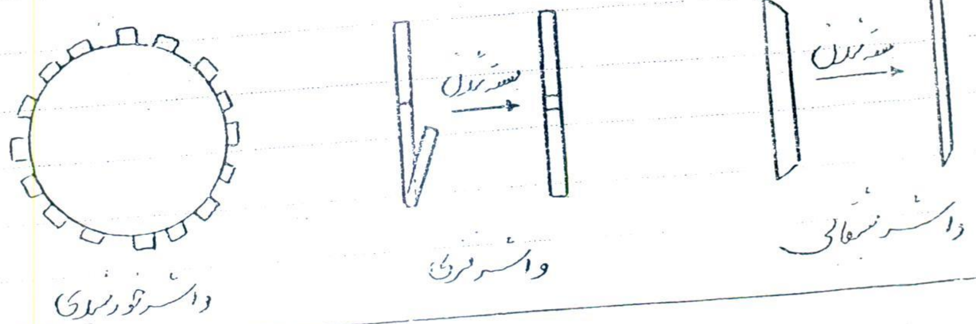
Subject
Date

۵- بوش: نشست محوری یک قطعه توسط قطعه دیگری که نشست محوری شده است به کمک بوش انجام می شود. بوش در واقع یک استوانه توخالی است. معمولاً در یک نشست بلبرینگ یا یاتاقان را نشست محوری می کند و سپس بار قطعات را به کمک بوش نشست محوری می کند.

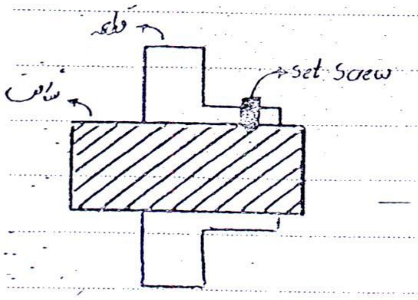


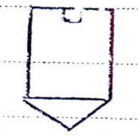
۶- زروه کردن: برای قطعات بر روی شافت از زروه کردن درون شافت مطابق شکل روبرو استفاده می شود. البته برای برطرف کردن لقی از پین استفاده می شود. در نهایت قطعه توسط مهره کاملاً نشست می شود. در حال لرزش ممکن است پیچ یا مهره باز شود. برای جلوگیری از باز شدن بین قطعه و مهره از واشرهایی استفاده می شود که پس از بسته شدن یک نیروی محوری به وجود می آورند که باعث بیشتر شدن اصطکاک بین زروه های پیچ با مهره می شود و مانع باز شدن آن می گردد.



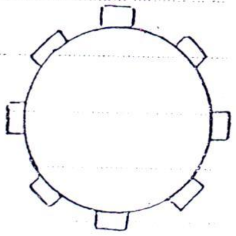


۷- set screw: استفاده از ۱ دانه set screw هم محوری شفت و نافی را بهم می زند، لذا باید از تعداد ۳ یا ۴ set screw به طور متقارن استفاده کرد. قسمت نوک تیز set screw در شافت فرو رفته و باعث ایجاد اصطکاک می شود.

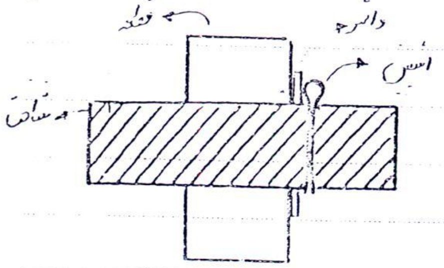




۸- واشر شیاردار: وسیله ای است که از یک سمت وارد شافت می شود و زائده های آن به گونه ای است که امکان حرکت در جهت مخالف را نمی دهد. در واقع این زائده ها شیاردار بوده و در درون شافت فرو می روند.

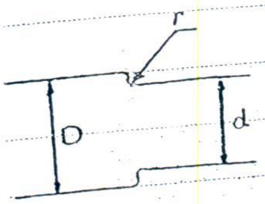


۹- اشپیل:

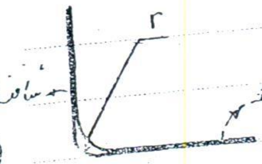


Subject
Date ۸۷ / ۱ / ۲۰

تذکر: همان گونه که بیان شد یکی از بهترین راه‌ها برای تثبیت محوری ایجاد پله روی شافت است.
از طرفی در مکان به وجود آمدن پله، تمرکز تنش به وجود می‌آید.



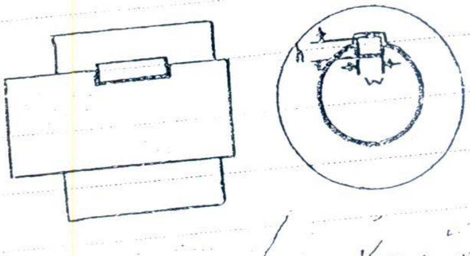
هر چقدر $\frac{D}{d}$ عددی نزدیک‌تر به ۱ باشد تمرکز تنش کمتر است و از طرف دیگر با نزدیک شدن مقادیر d و D تثبیت محوری خود را از دست می‌دهیم. لذا در طراحی معمولاً این نسبت $1.2 < \frac{D}{d} < 1.5$ را دارا می‌باشد. پارامتر دیگر برای طراحی پله شعاع راکورد یا r است. طراحی باید به گونه‌ای باشد که فشار قطعه سوار شده روی پله باشد نه روی راکورد. برای این منظور



هر چه شعاع پله یا همان r کوچکتر باشد بهتر است. از طرف دیگر کوچکتر شدن شعاع به افزایش تمرکز تنش منجر می‌شود. معمولاً شعاع راکورد ۵٪ شعاع شافت است ($r = 5\% \frac{d}{2}$)

روش‌های تثبیت دورانی

۱- خارها: الف) خار مربعی: این خار تثبیت دورانی می‌کند ولی تثبیت محوری نمی‌کند. همان طور که در شکل مشخص است پولی باید کمی از طرف بالا بزرگتر باشد. برای آن که خار گشاد و شل نکند



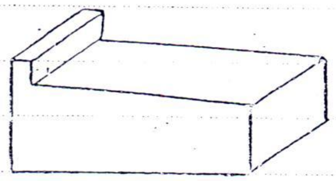
یک سری نیروهایی روی لبه‌های آن ایجاد می‌شود که اگر این افزایش تنش حد تحمل خار بیشتر گردد، خار از بین می‌رود.

PAPCO

برای جلوگیری از این اتفاق چند راه وجود دارد: ۱. استفاده از چند خار: از این روش به ندرت استفاده می شود چون روش مناسبی نیست. دلیل این امر این است که اولاً مساحت مقطع شافت را کم می کند که این امر برای شافت خطرناک است و ثانیاً چون در هر جای ساخت دقت ناپذیر است ممکن است جای خار روی شافت دقیق پرداخت نشود لذا حدوداً یک خار کامل گشتاور را تحمل کند. ۲. افزایش دادن ارتفاع (h): این روش به خاطر کم کردن زیاد مساحت مقطع شافت و ایجاد تمرکز تنش بالا استفاده نمی شود. ۳. افزایش دادن طول خار: این روش، روش مناسبی است. طول خار حداقل به اندازه ی قطر شافت می باشد. عرض خار با عرض جای خار برابر است لذا خار را با چکش جای می زنند.

ب) خار مستطیلی: همانند خار مربعی است با این تفاوت که سطح مقطع خار مستطیل است.

ج) خار گوه ای (گلگی): این نوع خار به دلیل شیبی که دارد علاوه بر تثبیت دورانی قطعه را از یک طرف نیز محوری مهار می کند.



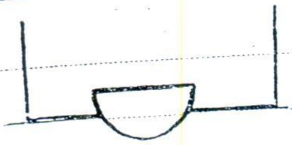
- از طرفی به خاطر زائده ای که در انتهای آن وجود دارد درآوردن خار راحت تر است. در خار گوه ای ابتدا قطعه را روی شافت گذاشته و بعد خار را جای می زنند.

PAPER

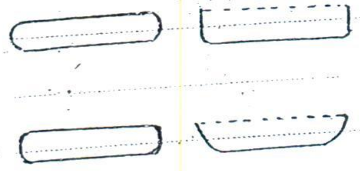
Subject

Date

د) خار ماهی: در این نوع خار مقطع خار نیمه گرد است.



روی شافت به وسیله‌ی فرز انگشتی جای خار را درست می‌کند:

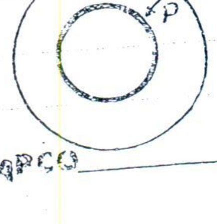


با فرز بغلی هم می‌توان جای خار درست کرد:

تمرکز تنش در این نوع جا خار کمتر از نوع اول است. در طراحی باید توجه کرد فاصله‌ی جا خارها باید به اندازه‌ای باشد که تمرکز تنش مضاعف نشود. این فاصله باید حداقل به اندازه‌ی ارتفاع بل باشد.

۲- هزار خار: بعضی از جاها که بخواهند گشتاور زیادی را منتقل کنند و در ضمن حرکت محوری هم داشته باشند از هزار خار استفاده می‌کنند. بخشی برآمده شده از شافت به گونه‌ای است که نوع یا روش جا خارها را تعیین می‌کند.

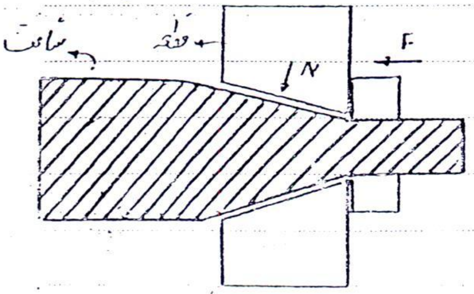
۳- جای گذاری پرسی: در این روش از اصطکاک بین شافت و قطعه استفاده می‌شود. در این روش یا قطر شافت را کمی از قطر اصلی بزرگتر می‌گیرند و یا قطر قطعه را کمی از قطر اصلی کوچکتر انتخاب می‌کنند و حالا قطعه را گرم کرده



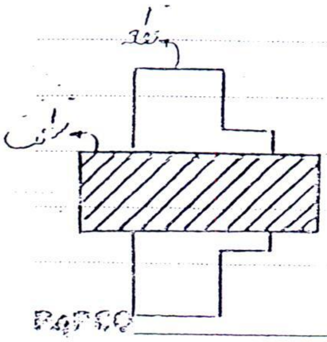
PAPCO

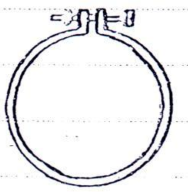
دو شافت را سوراخ می‌کنند و دو قطعه را در هم جای می‌زنند. اگر نیروی بین شافت و قطعه پس از تعادل گردانی P باشد این روش می‌تواند گشتاور $T = P \times \mu \times r$ را انتقال دهد. این روش نیاز به دقت بالایی دارد. عیب این روش این است که درآوردن قطعه از شافت خیلی به سختی انجام می‌شود و معمولاً یا به شافت یا به قطعه آسیب می‌رساند.

۴- استفاده از سطوح مخروطی: در این روش قطعه تثبیت دورانی می‌شود و البته علاوه بر تثبیت دورانی از یک طرف نیز تثبیت محوری می‌شود. روش



این نوع تثبیت برای گذاشتن و پس از جا درآوردن قطعه یک قطعه‌ی اضافی در سمت دیگر شافت جای می‌دهند که به قطعه نیروی معادل F وارد می‌کند. چون شیب سطح مخروطی کم است یک نیروی عمودی نسبتاً بزرگ و در نتیجه نیروی اصطکاک بزرگ ایجاد می‌شود که مانع دوران قطعه نسبت به شافت می‌شود. شیب سطح مخروطی معمولاً در حدود ۵ درجه است.





۵- استفاده از رینگ: مطابق شکل در این روش با رینگ ثبت قطعه را از یک جهت تا جایی که در قطعه وجود

PAPCO

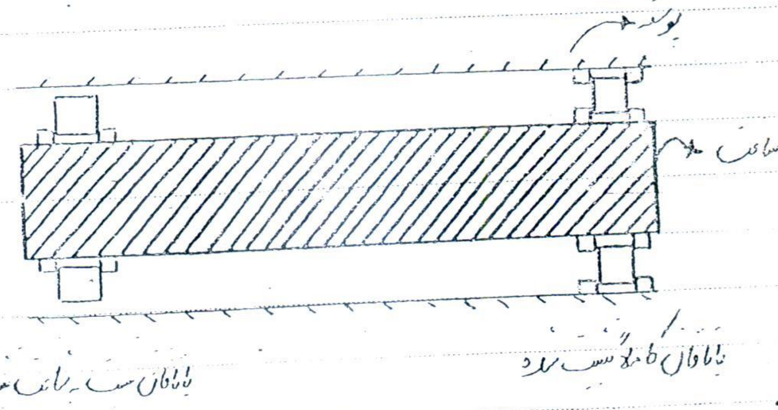
Subject

Date

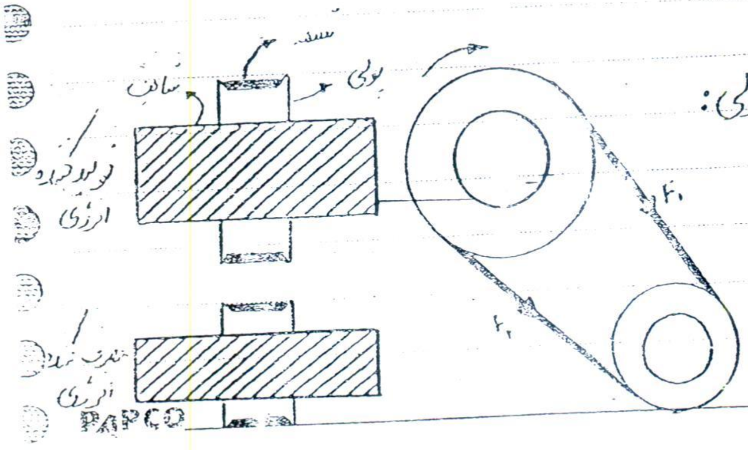
دارد می بندند و با کمک پیچ روی بست قطعه را به شافت محکم می کنند تا اصطکاک بالا رود و قطعه و شافت روی هم حرکت نکنند.

روش های نشیت محوری شافت

روش های مختلفی برای نشیت محوری شافت وجود دارد ولی همه ی این روش ها از این پایه استوارند که : یک یاتاقان را نسبت به پوسته و شافت کاملاً نشیت محوری می کنند و یاتاقان دوم را نسبت به پوسته یا شافت نشیت می نمایند.



انتقال قدرت



۱- همراه با نیروی تماسی : الف) تسمه و پولی :

اگر مطابق شکل تسمه در جهت ساعتگرد حرکت کند در هر دو پولی

PAPCO

تسمه کشش به وجود می‌آید. لازمه‌ی چرخش در این جهت این است که $F_1 > F_2$ باشد. گشتاوری

که در این حالت می‌توان انتقال داد: $T = \frac{(F_1 - F_2)d}{2}$ که در آن d قطر پولی تولیدکننده‌ی انرژی

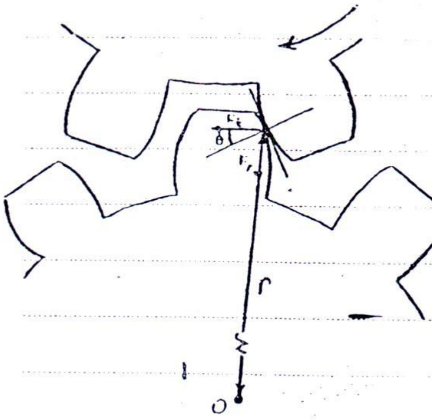
است. در حالت بهینه یا در بدترین $F_2 = 0$ گشتاور منتقل شده برابر است با: $T = \frac{F_1 d}{2}$

ب) زنجیر و چرخ زنجیر: عملکرد زنجیر و چرخ زنجیرها مانند تسمه و پولی است با این تفاوت که

در زنجیر و چرخ زنجیر $F_2 = 0$ است. لذا گشتاور منتقل شده همواره برابر است با: $T = \frac{Fd}{2}$ که در

این رابطه $\frac{d}{2}$ فاصله‌ی مرکز دانه‌های زنجیر تا مرکز شافت است.

ج) چرخ دنده: زاویه‌ی θ نشان داده



شده در شکل، زاویه‌ی فشار نام دارد. در چرخ

دنده‌ها معمولاً زاویه‌ی فشار اعداد ۱۴، ۲۰ یا ۲۵

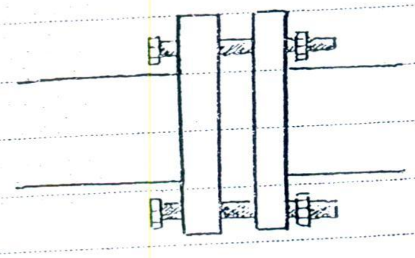
درجه هستند. در چرخ دنده‌ها داریم:

$$\left.\begin{array}{l} F_t = F\cos\theta \\ F_r = F\sin\theta \end{array}\right\} \Rightarrow T = F\cos\theta \, \frac{d}{2}$$

که در رابطه‌ی بالا F کل نیروی بین چرخ دنده‌ها و $\frac{d}{2}$ شعاع چرخ دنده‌ی تولیدکننده‌ی انرژی است.

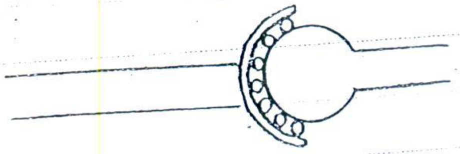
Subject
Date

۲- اتصال نیروی شفتهای: الف) کوپلینگ یا فلنج: در این روش مطابق شکل دو سیلندر به هم می بندند تا نیرو منتقل شود. برای هم محور کردن دو شافت دو راه



وجود دارد ۱- به کمک ساعت دو شافت را دقیقاً هم محور کنیم ۲- دو شافت را پس از هم محوری تقریبی به هم متصل کرده و با برداشتن یک تراش از روی آنها شافت ها را کاملاً هم محور نماییم. واضح است این روش نمی تواند در حالی که دو شافت نسبت به هم اختلاف زاویه دارند به درستی کار کند.

ب) روش کاردان: این روش اختلاف زاویه ی بین دو شافت را تا حدود ۵ الی ۱۰ درجه جبران می کند. البته روش دیگری به نام روش بولوس که در



شکل نشان داده شده می تواند ۴۰ درجه را جبران کند.

ج) کلاچ: تفاوت این روش با دو روش قبل این است که در این روش می توان جریان انرژی را قطع یا وصل کرد. این روش معمولاً به صورت های مختلف انجام می پذیرد: ۱- اصطکاک خشک ۲- اصطکاک ویسکوز که در آن از یک سیال با گرانروی بالا استفاده می شود. در ماشین های سنگین و ماشین های اتومات این روش کاربرد دارد ۳- جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی.

PAPCO

ملاحظات طراحی شافت

برای اطمینان از درست کار کردن شافت باید سه پارامتر را بررسی کنیم:

الف) قیدهای هندسی: در این قید به بررسی درست در مکان قرار گرفتن قطعات می پردازیم. مثلاً اگر یک موتور الکتریکی توسط چرخ دنده پیرو از شافت انتقال می دهد باید شخص شکل مکان موتور الکتریکی و چرخ دنده، مکان شافت نسبت به این دو قطعه جای مشخصی پیدا کند. یا در مثال دیگر اگر بخواهیم شافت را به کمک سه قید تست کنیم شافت پس از عبور از قید اول و دوم، برای عبور از قید سوم احتمالاً باید کمی خم شود و این باعث می شود که شافت به درستی کار نکند. این موضوع نشان می دهد که قیود اضافی همواره مناسب نیستند و بعضی از اوقات موجب اختلال در عملکرد سایر قسمت های می شوند.

ب) قیود ارتعاشی: در طراحی یک شافت چون نمی توان مرکز ثقل و مرکز دوران را دقیقاً روی هم منطبق نمود لذا هنگام دوران شافت حول مرکز دوران، یک فرکانس دوران ایجاد می شود که اگر با فرکانس طبیعی شافت برابر شود پدیده ی تشدید رخ می دهد و قطعه را از بین می برد. در این موارد باید سعی شود فرکانس طبیعی شافت با فرکانس دورانی به اندازه ی کافی اختلاف داشته باشند.

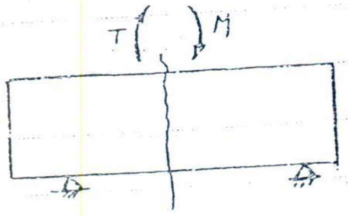
Subject

Date

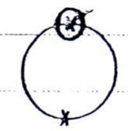
برای زیاد کردن فرکانس طبیعی یک شافت می توان نقطه شافت را بزرگ یا طول شافت را کوچک کرد.

ج) قیود استحکامی: برای انتقال دادن مقادیر مشخص گشتاور توسط قطعات مشخصی چون تسمه و پولی یا زنجیر و چرخ زنجیر مقدار حداقل قطری لازم است که با توجه به قیود استحکامی این حداقل قطر تعیین می شود. قیود استحکامی را در دو حالت بررسی می کنند. ۱. شافت ساکن: که در توسط تعداد دفعات بارگذاری کمتر از 10^3 سیکل می باشد و در این حالت فقط باید حد تسلیم مقایسه می شود ۲. شافت متحرک: اگر تعداد دفعات بارگذاری از 10^3 سیکل بیشتر باشد در این حالت تقسیم بندی می شود و با معیارهای خستگی مقایسه می شود. اگر شافتی در طراحی در حالت متحرک جواب دهد معمولاً لازم نیست حالت استاتیکی آن را مورد بررسی قرار دهیم. در مواردی که تعداد دوران شافت زیاد است معمول می باشد که طراحی بر اساس خستگی باشد.

محاسبات شافت ساکن

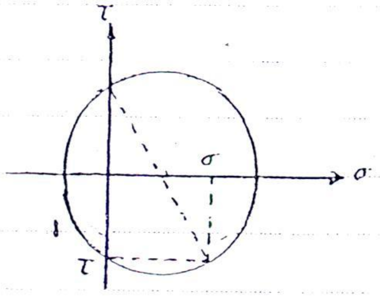


فرض می کنیم در مقطعی از شافت روبرو گشتاور پیچشی T و گشتاور خمشی M وارد می شود. با فرض توپر بودن شافت



مقدار تنش برشی $\tau_{Max} = \frac{16T}{\pi d^3}$ و مقدار تنش قائم $\sigma_{Max} = \frac{32M}{\pi d^3}$ است.

τ_{Max} روی محیط مقطع رخ می‌دهد و σ_{Max} در دورترین فاصله از تار خنثی رخ می‌دهد که یکی در کشش حاکم و دیگری در فشار حاکم قرار دارد. اگر فولاد نرم باشد مقاومت در کشش و فشار تقریباً یکسان است ولی اگر فولاد ترد باشد نسبت به کشش حساس‌تر است لذا با توجه به مطالب گفته شده بحرانی‌ترین نقطه‌ای از مقطع که دور آن خط کشیده شده بیشتر از سایر شرایط و نقاط دیگر ایمن می‌باشند. نکته‌ای که باید در اینجا توجه کرد این است که در طراحی مقادیر M و T مشخص است ولی مقدار d را باید به دست آوریم. جنس شافت معمولاً از CK45 است ولی در جاهایی که نیاز به جنس محکمی می‌باشد از 17CL200 استفاده می‌شود. در روش حل اول مقادیر را در رابطه می‌گیریم در این حالت دایره‌ی موهر را رسم می‌کنیم:



$$\tau_{Max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} < S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} < S_y/n$$

معمولاً n یا ضریب اطمینان را در مقدار ضرب می‌کنند از آنجایی که بار و استحکام مسلم رابطه‌ی خطی با هم دارند در اینجا S_y را بر n تقسیم می‌کنیم.

Subject

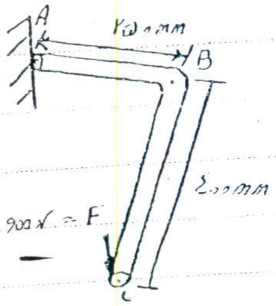
Date

$$\Rightarrow \sqrt{\left(\frac{32M}{\pi d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} = \frac{S_y}{n} \Rightarrow d = \left(\frac{32n}{\pi S_y}\sqrt{M^2+T^2}\right)^{1/3}$$

این مقدار برای قطر محور، مقدار قطری است که با شرایط مذکور بدست می آید. با نگاه کردن به جدول کمترین قطر بزرگتر از d به عنوان قطر شافت منظور می شود. با این کار اگر مثلاً به قطر شافت ۱۰٪ افزوده شود می توان بار را تا حدود ۳۳٪ افزایش داد و دلیل این امر آن است که مکعب قطر با مقدار بار در تناسب است لذا معمولاً مقدار n یا ضریب اطمینان را مقدار بزرگی در نظر می گیرند. اگر معیار طراحی را معیار ون مایزز در نظر بگیریم این بار برای کمترین قطر بدست خواهیم آورد:

$$d = \left(\frac{32n}{\pi S_y}\sqrt{M^2+\frac{3}{4}T^2}\right)^{1/3}$$

مثال: کمترین قطر مورد نیاز برای یک آچار چرخ ماشین شکل روبرو را بدست آورید.



با یک تخمین می توان فهمید که مقدار دفعاتی که این آچار چرخ می کند (احتمالاً کمتر از ۱۰۰۰) مشکل است پس محاسبات شافت ساکن در مورد آن صورت می گیرد. با بررسی کوتاهی می توان فهمید که بیشترین گشتاور خمشی و گشتاور پیچشی در نقطه A وارد می شود. نکته ای که باید در اینجا توجه شود این است که در معیار ترسکا اگر کل گشتاور خمشی تبدیل به گشتاور پیچشی شود یا برعکس

در اینجا d تغییر می‌کند برای مقطع A داریم:

$M = F \times 0.25 = 225\ N.m$ $\qquad$ $T = F \times 0.4 = 360\ N.m$

جنس آچار چرخ را از st_45 در نظر می‌گیریم چون باید آچار چرخ را با دقت زیادی ساخت. دلیل عدم استفاده از فولاد CK این است که فولادهای این دسته با روش تراشکاری درشت می‌شوند.

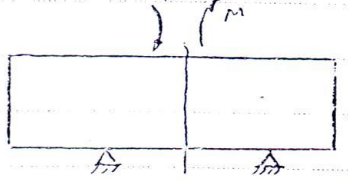
از طرفی با انتخاب جنس آچار چرخ $S_y = 230\ MPa$ و $S_u = 450\ MPa$ در دست می‌آید با انتخاب n=2 داریم:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 2 \times 10^3}{\pi \times 230} \times \sqrt{225^2 + 360^2}} = 29.7\ mm \longrightarrow \text{قطر آچار چرخ} = 30\ mm$$

اگر معیار ون مایزز در نظر بگیریم:

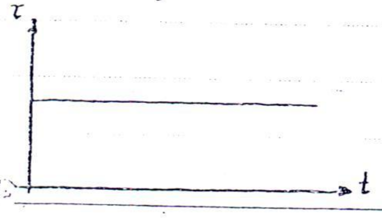
$$d = 28.7\ mm \longrightarrow \text{قطر آچار چرخ} = 30\ mm$$

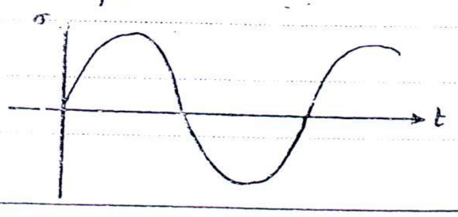
محاسبات شافت متحرک



فرض می‌کنیم در مقطعی از شافت در حال دوران روبرو گشتاور پیچشی T و گشتاور خمشی M وارد می‌شود

اگر مقدار T ثابت باشد مقدار τ در حاشیه‌ی بیرونی شافت همواره ثابت خواهد بود و اما مقدار σ برای حاشیه‌ی بیرونی تیر به صورت سینوسی نوسان خواهد کرد یعنی:



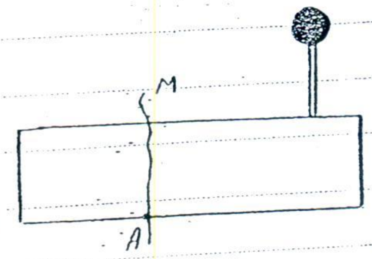


PAPCO

Subject

Date

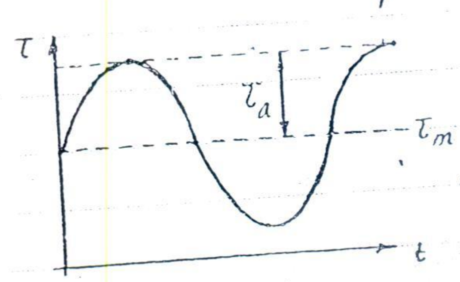
با توجه به مطالب گفته شده اگر فقط گشتاور پیچشی را داشته باشیم بارگذاری استاتیکی می باشد ولی اگر M را داشته باشیم یا اینکه گشتاور خمشی به همراه گشتاور پیچشی وارد شود بارگذاری از نوع خستگی خواهد بود. مطالب گفته شده در حالتی بود که مکان اعمال گشتاور خمشی ثابت باشد

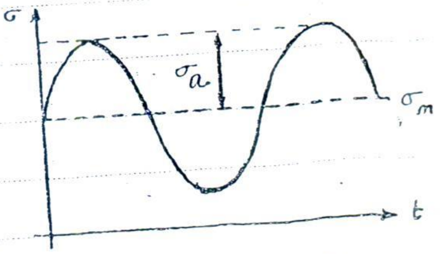


ولی در حالتی مشابه شکل روبرو که یک گوی به یک شافت متصل است و با دوران شافت حول محور خود برای نقطه ثابت A روی دایره‌ی شافت مقدار σ نیز ثابت است

و همواره در شرایط کشش می باشد پس داریم:

در اینجا حالتی را بررسی می کنیم که هم تنش برشی و هم تنش قائم در حال نوسان هستند لذا:





در برخی از مسائل قبل یک تنش محوری ثابت و یک تنش قائم ثابت داشتیم برای مرتبط ساختن این دو و بررسی شکست آن یا سالم ماندن نیازمند یک تئوری بودیم که از این دسته از تئوری های توان به تئوری ترسکا یا ون مایزز اشاره کرد. ولی در این مسائل علاوه بر اینکه هر دوی آنها را داریم هر کدام از

PAPCO

آنها یک تنش میانگین و یک دامنه‌ی تنش دارند. برای ترکیب شرایط این دو نیز بسیار مثل تئوری دیگری بودیم. از این دسته تئوری‌ها می‌توان به تئوری سادربرگ، گودمن، ASME و Garber اشاره کرد. حالا که هر چهار نوع این تنش‌ها در مسأله موجود است بایستی یک تئوری از دسته اول و یک تئوری از دسته‌ی دوم هستیم. از هر دسته محافظه‌کارترین نظریه را انتخاب می‌کنیم پس مسأله را با نظریه‌ی ترسکا و سادربرگ حل می‌کنیم.

(S.d.b) سادربرگ : $\frac{n\sigma_a}{S_e}+\frac{n\sigma_m}{S_y}=1$ — (MSS) ترسکا : $\sqrt{\frac{\sigma_a^2}{4}+\tau_a^2}\leq S_{sy}$

با ترکیب این دو رابطه و بدست آوردن یک تنش قائم معادل (σ_e) و یک تنش برشی معادل (τ_e) به ادامه‌ی حل مسأله با نظریه‌ی ترسکا می‌پردازیم.

$$\sigma_e=n\left(\sigma_m+\frac{S_y}{S_e}\sigma_a\right) \qquad \tau_e=n\left(\tau_m+\frac{S_{sy}}{S_{se}}\tau_a\right)$$

کسر $\frac{S_y}{S_e}$ یا $\frac{S_{sy}}{S_{se}}$ یک کسر بزرگتر از واحد است که مقدار بزرگتر بودن از واحد آن در واقع اثر خستگی است که در تنش معادل مدنظر قرار گرفته است. با استفاده از مقادیر تنش‌ها و با استفاده از تنش معادل داریم:

$$\sigma_m=\frac{32M_m}{\pi d^3},\quad \tau_m=\frac{16T_m}{\pi d^3},\quad \sigma_a=\frac{32M_a}{\pi d^3},\quad \tau_a=\frac{16T_a}{\pi d^3}$$

$$\Rightarrow d=\left(\frac{32n}{\pi}\sqrt{\left(\frac{k_f M_a}{S_e}+\frac{k_f M_m}{S_y}\right)^2+\left(\frac{k_{fs}T_a}{S_e}+\frac{k_{fs}T_m}{S_y}\right)^2}\right)^{1/3}$$

Subject
Date

چون ضرایب تمرکز تنش خود به قطر بستگی دارد پس ابتدا می بایست یک تخمینی از قطر شافت در دست داشته باشیم و k_f و k_{fs} را بدست آوریم و با استفاده از آن d را بدست آوریم پس رابطه را بر حسب مجهول ضریب اطمینان حل کرده و با ضرایب اطمینان لازم مقایسه کنیم و در صورت عدم قابل قبول بودن مسئله را دوباره حل کنیم

معمولاً در محاسبات $M_m = T_a = 0$ می باشد که در این صورت برای مقدار قطر داریم:

$$d = \left(\frac{32n}{\pi}\sqrt{\left(\frac{k_f M}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{k_{fs} T}{S_y}\right)^2}\right)^{1/3}$$

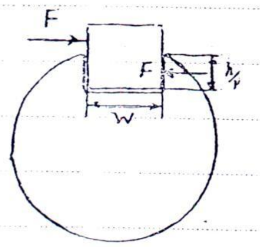
که این رابطه معروف به رابطه وستینگ هوس (Westinghouse Eq) می باشد. در این حل محافظه کارانه ترین معیارها را انتخاب کردیم پس d بزرگی بدست می آوریم. حالا اگر دقیق ترین تئوری ها یعنی ون مایزز یعنی ASME را انتخاب کنیم داریم:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\sqrt{4\left(\frac{k_f M}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{k_{fs} T}{S_y}\right)^2}\right)^{1/3}$$

در حل مسئله قطر حاملی را بدست می آوریم که گران ترین حالت می باشد. دلیل این گرانی بودن می تواند به دلیل مقادیر لنگر خمشی و گشتاور پیچشی بزرگ باشد یا به دلیل تمرکز تنش که نشأت گرفته از جمله جاهای خارها باشد بنابراین که در مورد ... های ... با استفاده از یک

تحمل ضریب تمرکز تنش را حساب کرد . در مورد خارهای هم روش مشابه حالت قبل است
در مورد جای خارهای مختلف تحت بارگذاری های مختلف جدول زیر پیشنهاد می شود

نوع جای خار	K_t	فولادهای نرم		فولادهای سخت	
		خمش	پیچش	خمش	پیچش
فرز انگشتی	۱٫۷۹	۱٫۶	۱٫۳	۲	۱٫۶
فرز گرد یا غلتکی	۱٫۳۸	۱٫۳	۱٫۳	۱٫۶	۱٫۶



حالا به بررسی طول خار مورد نیاز می پردازیم اگر در شکل
نیروی F زیاد باشد ممکن است خار یا شافت در اثر این نیرو
له شود که چون جنس خار از طرف نرم تر است پس احتمالاً شافت
له می شود . اتفاق دیگری که ممکن است بیفتد این است خار به دلیل تنش برشی در مقطع خود بریده
شود پس این دو معیار، معیار طراحی در طول خار را تعیین می کند برای اثر لهیدگی داریم :

$$\text{تنش لهیدگی} = \sigma = n \frac{F}{\frac{h}{2}\times L_1} < S_y$$

$$F \times \frac{d}{2} = T \Rightarrow F = \frac{2T}{d}$$

$$\Rightarrow L_1 = \frac{4Tn}{hdS_y}$$

Subject
Date

که در عبارت فوق L طول خار، T گشتاور پیچشی در مقطع، n ضریب اطمینان، h ارتفاع خار، d قطر شافت و S_y استحکام حد تسلیم مربوط به خار یا شافت می‌باشد. اگر S_y خار جایگذاری شود لهیدگی در خار و اگر S_y شافت را جایگذاری کنیم لهیدگی در شافت بررسی می‌شود.

برای به دست آوردن h ابتدا تخمینی از قطر شافت می‌زنیم و با استفاده از جدول ارتفاع متناظر خار دارای قطر شافت تخمین زده حساب می‌کنیم. توجه شود که L حداقل طول خار لازم است. در حالت دوم استرس برشی در خار بررسی داریم:

$$\text{تنش برشی} = \tau = \frac{F \times n}{L_2 W} < S_{sy} \approx \frac{S_y}{2} \xrightarrow{F=\frac{2T}{d}} L_2 = \frac{4Tn}{dWS_y}$$

که در عبارت بالا L_2 حداقل طول خار و S_y استحکام تسلیم خار می‌باشد. معمولاً طول خار را کوچکتر از قطر شافت انتخاب می‌کنند لذا در نهایت برای طول خار داریم:

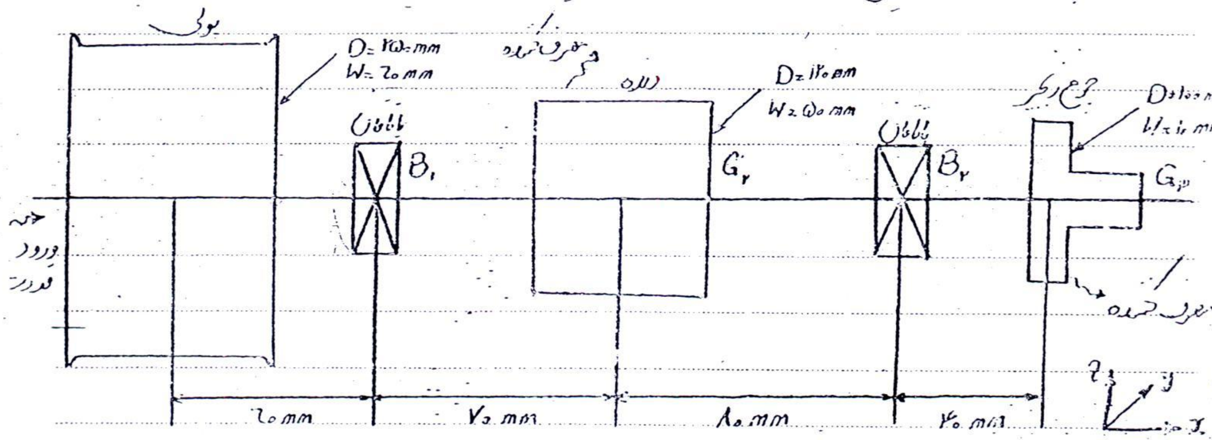
$$L = Max\{L_1, L_2, d\}$$

در مورد ضریب اطمینان در روابط بالا اگر بارگذاری یکنواخت باشد (مثلاً همراه یک مایع) n=1.5 اگر بارگذاری در ضربات ملایم باشد (ابزاری حرکتی) $1.5 \le n \le 2$ و اگر بارگذاری در ضربات شدید باشد (مثلاً سنگ خردکن) $3 \le n \le 4.5$ است

PaPCO

Subject
Date ۸۷ / ۱ / ۲۷ (۳۳)

مثال: برای یک ماشین ساخت قوطی کنسرو آرایشی شکل زیر داده شده است. مطلوب است



طراحی شافت. قدرت ورودی 11kW و دور آن 720rpm می باشد (در واقع 11kW حداکثر توان ورودی است). 60% قدرت به طور یکنواخت از چرخ دنده ی G_2 و 40% قدرت از چرخ زنجیر G_3 به طور یکنواخت با ضریب دو برابر خارج می شود. جنس پولی از آلومینیوم ریخته گری شده با $S_u=180MPa$ و $S_y=150MPa$ و $\epsilon_f=8\%$ می باشد. برای شفت و چارها از CK45 با $S_u=630MPa$ و $S_y=370MPa$ و $\epsilon_f=14\%$ استفاده می شود. دنده ها را از جنس VCL140 (سیستم آلمانی) یا MO40 (سیستم روسی) یا از جنس 42CrMo4 (سیستم DIN) می سازیم که این یعنی فولاد آلیاژی با دارا $S_u=880MPa$ و $S_y=550MPa$ و $\epsilon_f=12\%$ این فولادها قابلیت عملیات حرارتی را دارند. رینگ ها از طریق 200 ... نوع ساده می باشد.

شافت ها از ... ساخته می شوند و چارها از ... است و زاویه فشار چرخ دنده ها 20 درجه است

Subject

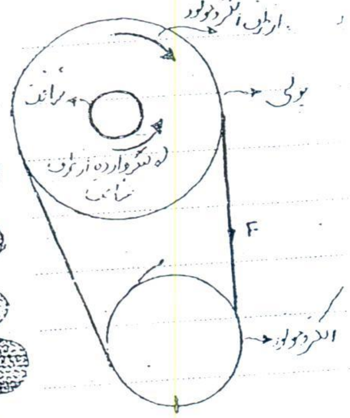
Date

اطمینان ۳=n می باشد

حل: در صورت قرارداد برای جهت دوران شافت اگر شست دست راست را در جهت ورود قدرت بگذاریم جهت بسته شدن انگشتان، جهت دوران شافت را مشخص می کند

اگر در مسأله دور الکتروموتور را داده بود برای به دست آوردن دور شافت باید دور الکتروموتور را در نسبت قطرها ضرب کنیم. معیار ما در حل مسأله دور شافت است

نکته: در نقطه ای که راننده است گشتاوری در خلاف جهت دوران و در نقطه ای که رانده شده است نیرویی در جهت دوران وارد می شود.



پولی رانده شده ی الکتروموتور است و در مرکز خود شافت را می چرخاند پس خودش راننده شافت است.

$$T = \frac{P}{W} = \frac{11000}{\frac{720 \times 2\pi}{60}} = 145.9 \ N.m$$

$$T_{G_2} = 0.4 \times 145.9 = 58.4 \ N.m$$

$$T_{G_1} = 0.6 \times 145.9 = 87.5 \ N.m$$

معمولاً ماشین آلات طراحی شده عمری حدود ۱۰ سال دارند تعداد سیکل تنشی در مورد عمر برابر مقدار دوران شافت است (با هر دور دوران شافت در یک نقطه مشخص یک بار کشش و فشار را تحمل می کند)

PAPCO

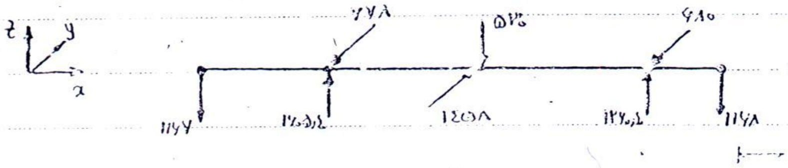
دفعات بارگذاری حقیقی: $10 \times 250 \times 2 \times 8 \times 60 \times 720 = 1728 \times 10^6$ دور

(ساعت، شیفت کاری، روز، ماه)

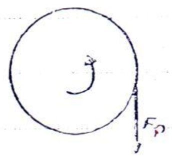
دفعات بارگذاری نسبی: $10 \times 250 \times 2 \times 8 \times 60 \times \frac{1}{2} = 1.2 \times 10^6$ دور

توجه: در بارگذاری نسبی اگر تعداد نوسانات کمتر از 10^6 بود در ۲۵۰۰۰ نیز باشد باز هم تعداد سیکل‌ها را 10^6 در نظر می‌گیریم چون در نمودار S-N چون محور لگاریتمی است بین اعداد 1.2×10^6 و 10^6 سیکل تفاوت کمی وجود دارد.

با استفاده از روابط تعادل داریم:

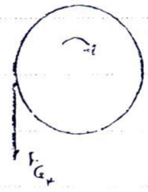


پولی و تسمه:



$$F_p = \frac{2T}{D} = \frac{2 \times 145.9}{0.25} = 1167$$

دنده چرخ دنده:



$$F_{G_2} = \frac{2 \times 58.4}{0.1} = 1168$$

چرخ دنده:

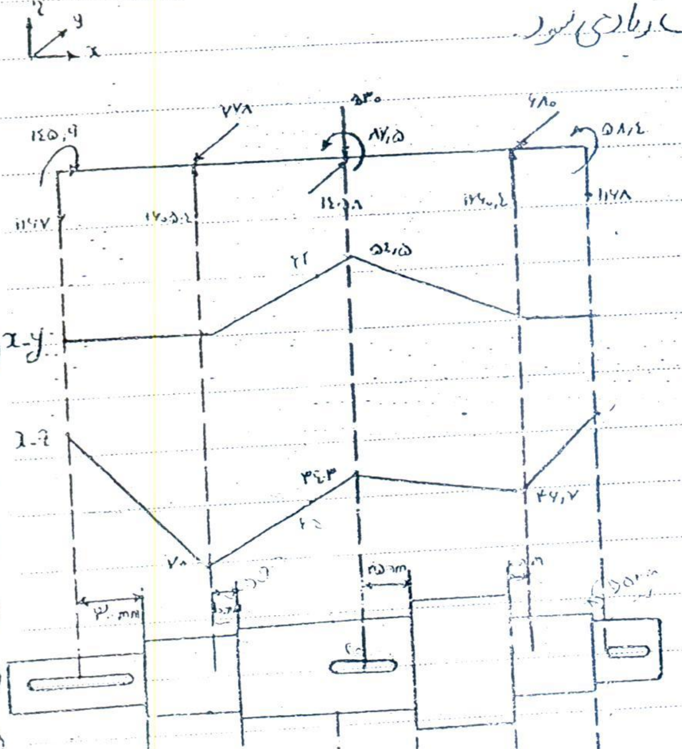
$$W_t = \frac{2 \times 78.65}{0.125} = 1258 \Rightarrow W_r = W_t \tan\varphi = 1258 \tan 20° = 457.8$$

توجه: W_r همواره به طرف مرکز چرخ دنده است. W_t نیز عکس جهت دوران است که جهت خود آن توسط جهت دوران چرخ مشخص می‌شود.

Subject

Date ۸۷ / ۲ / ۱

تذکر: استفاده از قطعاتی که قطر کمی دارند باعث ایجاد نیروهای بزرگ در شافت می شود و اگر قطر قطعات را زیاد کنیم سرعت دورانی شافت زیادی شود.



قطر شافت را در محل پله ها حساب

می کنیم در طرح اولیه در پله ها فرض می کنیم

$\frac{D}{d}=1.2$ و $\frac{r}{d}=0.02$ با نگاه به جدول داریم

$k_t=2.3$ و $k_{ts}=1.8$ با فرض $\begin{cases} S_u=0.7GPa \\ r=1mm \end{cases}$

$q=0.72$ و $q_s=0.82$ بدست می آید

$k_f = 1+q(k_t-1) \simeq 1.94$

$k_{fs} = 1+q_s(k_{ts}-1) = 1.69$

با توجه به جدول مربوط به جا خار:

$k_f=1.6$ $k_{fs}=1.3$

حالا با استفاده از مقادیر بدست

آمده برای قطر طبق رابطه ای

۳۵	۷۶	۵۷٫۸	۵۵٫۵	۴۶٫۶	۵۸٫۴	M_a
۱۱۶٫۷	۱۱۶٫۷	۱۰۱٫۶	۲۹٫۲	۲۹٫۲	۲۹٫۲	T_m
۲۹٫۲	۲۹٫۲	۱۰٫۲	۲۹٫۲	۲۹٫۲	۲۹٫۲	T_a
۱٫۹۴	۱٫۹۴	۱٫۶	۱٫۹۴	۱٫۹۴	۱٫۹۴	k_f
۱٫۶۹	۱٫۶۹	۱٫۳	۱٫۶۹	۱٫۶۹	۱٫۶۹	k_{fs}
۳۰٫۲	۴۳	در این ناحیه چون نیرو کم شد و قطر (...) نشد		۲۷	۲۳٫۴	d
۳۵	۳۵	۴۲	۵۰-۵۵	۲۵	۲۰	d_1
۴۲	۴۵	۲۰	۳۸	۳۵	۱۶	d_2
۱۰×۸		۱۲×۸			۸×۷	ابعاد خار

RAPCO

Subject
Date ۸۷ / ۲ / ۱۳ (۳۵)

با فرم Westing house داریم:
$$d=\sqrt[3]{\frac{32n}{\pi}\sqrt{k_f^2\left(\frac{M_m}{S_y}+\frac{M_a}{S_e}\right)^2+k_{fs}^2\left(\frac{T_m}{S_y}+\frac{T_a}{S_e}\right)^2}}$$

حالا به محاسبه‌ی استحکام حد دوام می‌پردازیم:
$$S'_e=0.504\,S_{ut}=317.5\ MPa$$

$$S_e=S'_e\{k_a k_b k_c k_d k_e k_f\} \Rightarrow k_a=aS_{ut}^{\,b} \xRightarrow{\text{تراشکاری}} a=4.51,\ b=-0.265 \Rightarrow k_a=0.82$$

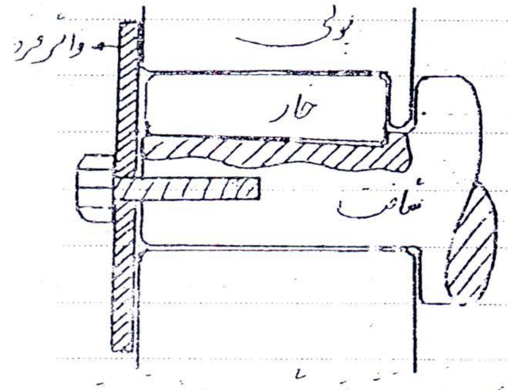
$$k_b=1.24\,d^{-0.107} \Rightarrow k_b=0.83 \quad , \quad k_c=1 \quad , \quad k_d=1 \ , \ R=0.99 \Rightarrow k_e=0.814 \ , \ k_f=1$$

$$S_e=317.5(0.82\times0.83\times1\times1\times0.814\times1)=175.9\ MPa \quad , \quad S_y=370\ MPa$$

از جدول با توجه به قطر شافت در هر مقطع اندازه‌ی های خار به دست می‌آید حالا در مورد هر خار مقاومت خار را در برابر برش و نیز مقاومت قطعه با خار یا شافت را در مورد تنش لهیدگی محاسبه می‌کنیم

در خار پولی تنش لهیدگی در پولی آلومینیومی از همه بحرانی‌تر است:
$$L=\frac{nF}{\frac{t}{2}S_{y_{Al}}}=\frac{4nT}{tDS_{y_{Al}}}\simeq 46$$

چون طول جا خار با احتساب ۲ تا ۳ میلی‌متر بعد از پله به خاطر راکورد جا خار به مقداری است که از



انتهای شافت بعد از جا خار مقدار زیادی باقی می‌ماند می‌توانیم

جا خار را تا انتهای شافت ادامه دهیم و جا خار سرباز می‌دهیم

طول شافت را حدود ۵ میلی‌متر کوتاه‌تر از عرض پولی می‌گیریم

تا به خاطر قرار دادن واشر فری و سفت کردن پیچ پولی از لحاظ محوری به خوبی ثبت شود. در این قسمت

Subject
Date

چون در زمان شروع به کار کردن شافت گشتاور پیچشی حدود ۲٫۵ برابر وارد می شود ضریب اطمینان ۲ مقداری کوچک است پس می توان طول شافت را بیشتر نمود و جا خار مناسب و یک بانی برای تثبیت پولی استفاده کرد.

- در خار چرخ دنده تنش لهیدگی در شافت از همه بحرانی تر است:

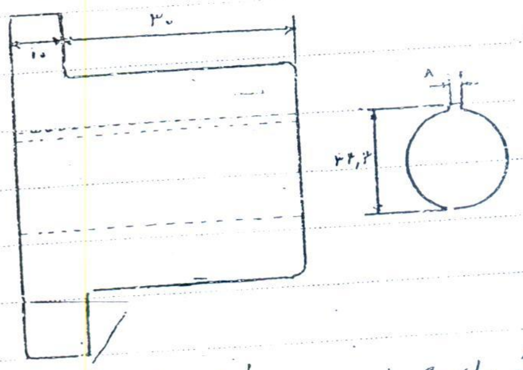
$$L = \frac{4 \times 1{,}5 \times 0{,}6 \times 145{,}9 \times 10^3}{8 \times 42 \times 270} = 4{,}2\ mm$$

چون طول خار خیلی کم است طول خار را به اندازه‌ی تقریبی 42mm می گیریم

- در خار چرخ زنجیر تنش لهیدگی در شافت از همه بحرانی تر است:

$$L = \frac{4 \times 2{,}5 \times 0{,}4 \times 145{,}9 \times 10^3}{7 \times 30 \times 270} = 7{,}5\ mm$$

مشابه حالت قبل این بار نیز طول خار را به اندازه‌ی تقریبی 30mm انتخاب می کنیم. حالا به محاسبه‌ی طول بانی چرخ زنجیر می پردازیم: جای خار طولی حدود 40mm دارد و ۵ میلی متر در ابتدا و انتهای خود گردی دارد و چون طول خار 30mm است به اندازه‌ی طول خار نیز باید جا داشته باشد. لذا ضخامت چرخ زنجیر و بانی آن نیز باید مجموعاً 40mm شود. چون ضخامت چرخ زنجیر ۸ میلی متر است لذا ضخامت بانی نیز لازم است ۳۲ میلی متر باشد.



تذکر: حالا با استفاده از تنش های بدست آمده مسئله را بار دیگر برای مجهول ضریب اطمینان حل می کنیم.

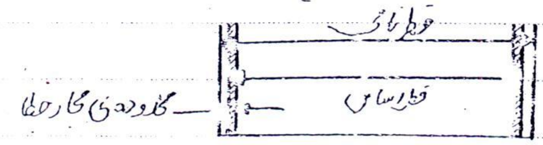
PAPCO

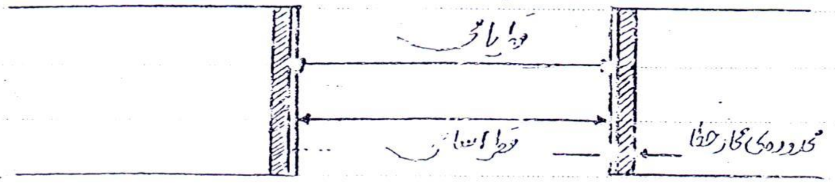
Subject:
Year. Month. Date. ۳۶

تلرانس‌ها (Tolerances)

معیاری است که بیان کننده‌ی میزان خطای قابل قبول است. در تولید وقتی قطعه‌ای را داخل قطعه‌ی دیگری جای می‌دهیم می‌بایست اندازه‌های برابر داشته باشند ولی در عمل چنین نیست مثلاً وقتی از بازار پیچ ۸ می‌خریم قرار است که قطر گام، قطر و ... همگی مشخص باشند که در اینجا ۸ را نامی می‌گویند ولی وقتی که اندازه‌ی پیچ را می‌سنجیم دقیقاً آن اندازه نیست که به خاطر کاربرد اندازه‌ها را رنج میزان تغییر می‌دهیم. حالا به بررسی یکی از این استانداردها یعنی استاندارد ایزو (ISO) می‌پردازیم. در استاندارد ایزو اندازه‌ها را با دو علامت که عبارت است از یک حرف و یک عدد نشان می‌دهیم: (عدد) (حرف)

حرف مشخص کننده‌ی تفاوت قطر واقعی سوراخ یا شافت از اندازه‌ی نامی آن در راستای کاربرد است. عدد تعیین کننده‌ی محدوده‌ی قابل قبول تغییرات اندازه‌ی اسمی است.





Subject:
Year. Month. Date. ( )

حروف:

a b c d ... g h i ... x y z (برای شافت)

مجموعه‌ی بازی ← | → مجموعه‌ی جذبی

A B C D ... G H I ... X Y Z (برای سوراخ)

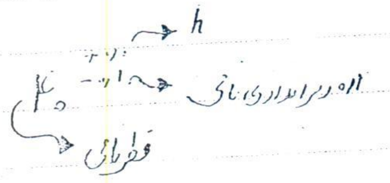
عدد: ۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶

در مورد حروف از a به z از لق بودن به جفت بودن می‌رود یعنی سوراخ تنگ و شافت کلفت می‌شود.

در مورد حرف h قطرهای واقعی و اسمی با هم برابر هستند.

در مورد هر عدد به اندازه‌ی ۶۰٪ بیشتر از عدد قبلی است یعنی عدد قبلی ضرب در ۱/۶ را می‌شود.

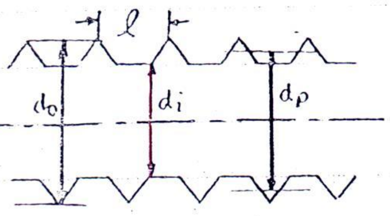
مثلاً در مورد ۲۵h۶ یعنی است که قطر اسمی آن برابر قطر واقعی است از طرفی محدوده‌ی دقت متوسطی دارد. قطر شافت در این مورد ۲۵ است یا در مورد ۳۲C۷ شافتی است با قطر ۳۲ که دارای اندازه‌ی بازی کوچک است و اندازه متوسط خطا را دارد. معمولاً کلاس‌ها را به صورت زیر نمایش می‌دهند:



Subject:
Year. ۸۷ Month. ۲ Date. ۸ ۲۷

پیچ (Screw)

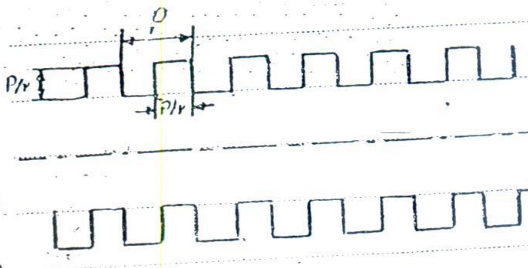
پیچ سطح شیب‌داری است که دور یک استوانه پیچیده شده است. پیچ‌ها بر دو نوع هستند ۱. پیچ‌های انتقال قدرت ۲. پیچ‌های نگه‌دارنده. پیچ‌ها اعضای استانداردی هستند که کمتر پیش می‌آید که پیچ‌ها را برای مصارف، خود بسازند. چون زاویه‌ی سطح شیب‌دار خیلی کم است نسبت تبدیل قدرت آنها بسیار بالا است یعنی نیرو را مقدار زیادی افزایش می‌دهند ولی باید در عوض مسافت بیشتری را طی کنیم پس پیچ‌ها یک عامل بسیار خوب برای وقتی است که می‌خواهیم یک قدرت را انتقال دهیم. پیچ‌ها یک خصوصیت خوب دیگر دارند و آن اینکه نیرو را فقط در یک جهت اعمال می‌کنند که این ویژگی باعث استفاده از پیچ‌ها به عنوان نگه‌دارنده می‌شود. یک

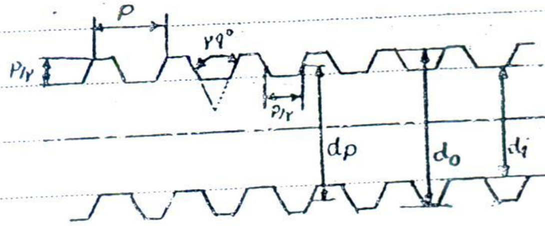


پیچ معمولاً با سه قطر معرفی می‌شود. قطر داخلی (d_i) قطر خارجی (d_o) قطر گام (d_p). به مقدار جلو رفتن پیچ در هر دور چرخش پیشروی (l) می‌گویند. اگر قرار باشد پیچی داخل یک مهره برود که کمترین قطر مهره باید از کوچکترین قطر پیچ کمی بزرگتر باشد و بزرگترین قطر پیچ از بزرگترین قطر مهره کمی کوچکتر باشد. برای اینکه پیچ به درستی کار کند لازم است قطر گام پیچ و مهره با هم برابر باشند. عملی است بر روی استوانه‌ی پیچ چند سطح شیب‌دار پیچانده باشند که

Subject:
Year. Month. Date. ( )

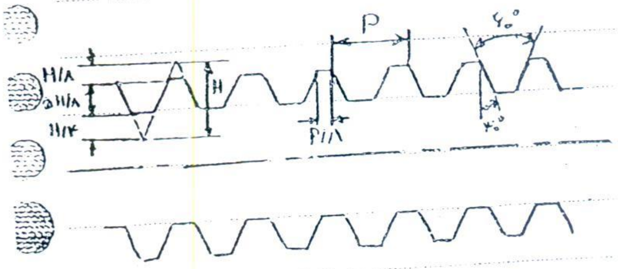
در آنها پیچ چندراهه می گویند و در کنار پیچ علامت ۲x یا ۳x می گذارند. اگر پیچ دوراهه باشد پس از یک دور دو برابر فاصله‌ی رزوه ها طی می شود. هدف از چندراهه کردن پیچ ها این است که اولاً پیشروی بیشتر می شود ثانیاً مقدار نیروی قابل تحمل بیشتر می شود و ثالثاً پیچ ضعیف می شود. پیچ های انتقال قدرت دو نوع رزوه دارند که عبارتند از: ۱- رزوه مربعی ۲- رزوه ذوزنقه ای





در پیچ رزوه ذوزنقه ای، روی دایره‌ی گام فاصله‌ی بین دو رزوه P/2 است و نیز داریم: $d_o = d_i + P$

پیچ های یکطرفه یک نوع رزوه دارند:



دلیل این که رزوه ها را با انحنا تیز نمی کنند این است که تمرکز تنش باعث شکست پیچ از آن نقاط می شود. دلیل این که نوک رزوه ها را تیز می کنند این است که اگر نوک رزوه ها تیز باشد از نقطه‌ی دوم تراده برش دارد پس پیچ هایی که باید جای پیچ را خودشان درست کنند دارای رزوه های نوک تیز هستند. برای بعضی از پیچ ها که قرار است نیروی زیادی را تحمل کنند و ضریب تمرکز

Subject:
Year. Month. Date: ۲۸

تنش ها را ادیت می کند از پیچ های مثلث خورده استفاده می کنیم که سطح داخلی پیچ به صورت شیار می باشد. پیچ ها از جنس مرغوب می باشند و استحکام کششی آنها از 400MPa کمتر نیست. روی سر پیچ اعدادی می نویسند که نشان دهنده ی مقاومت پیچ است. پایین پیچ ها نرم تر از سر پیچ است سر پیچ ها سخت تر و ترد تر می باشند و دلیل آن این است که روی سر پیچ کار سرد انجام می شود. حالا به معرفی چند نوع پیچ می پردازیم: ۱. پیچ آلن: چند گوش سری (معمولاً شش گوش) به جای که بیرون در آید در داخل سر پیچ در می آید. مشکل این نوع پیچ آن است که در یک گشتاور پیچشی بر اثر امکان شکستن سر پیچ آلن بیشتر است. ۲. پیچ مغزی: فاقد سر پیچ است در واقع دو سر آن رزوه شده است.

۳. پیچ خودکار: این پیچ تقریباً مخروطی شکل است وقتی که داخل چوب یا جای مورد نظر قرار گرفت با پیچاندن پیچ داخل قطعه رزوه ایجاد می کند. معمولاً این پیچ و قطعه را با هم می اندازند چون در انتهای سفت شدن پیچ ممکن است سر پیچ روی قطعه جا اندازد.

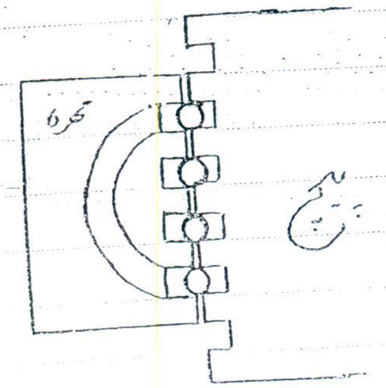
۱. پیچ ممکن است سر پیچ روی قطعه جا اندازد. معمولاً پیچ ها به سه دلیل از بین می روند: ۱. به خاطر گشتاور پیچشی که به قطعه وارد می کند در مقطع پیچ با زاویه ی 45° می شکند معمولاً علت شکست حدود ۱۰٪ تا ۱۵٪ از پیچ ها این دلیل است. ۲. رزوه ها خراب می شوند که حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪ از دلایل شکست به خاطر این اتفاق است ۳. سر پیچ بشکند. از آنجایی که سر پیچ تمام گشتاور پیچشی و نیروی محوری را تحمل می کند

Subject: Year. Month. Date. ( )

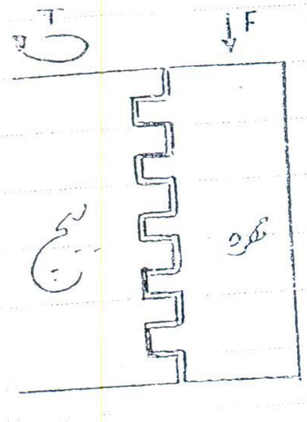
و علاوه بر اینها تحمل گشتاور زیاد دارد خیلی از پیچ ها را سفت می کنند. برای پیچ ها داریم:

پیشروی $l = n \times p$ (n: تعداد راه ها، p: گام پیچ)

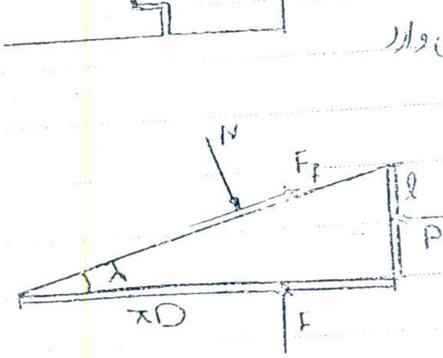
در پیچ های انتقال قدرت اصطکاک یک عامل مزاحم به حساب می آید. به منظور کاهش انرژی اصطکاک از پیچ های بالسکرو استفاده می شود که در درون مهره ی این نوع پیچ ها ساچمه به کار رفته است. به منظور بیرون نریختن ساچمه های درون مهره راهی درست می کنند که ساچمه ی انتهایی پس از حرکت دوباره به بالا می آید. حالا به بررسی گشتاور و نیروهای وارد بر یک پیچ می پردازیم.



پیچ رو به رو توسط گشتاور پیچشی T به حرکت در می آید. این گشتاور بر نیروی F غلبه می کند. حالا به جواب این سوال می پردازیم که برای غلبه بر نیروی F حداقل گشتاور پیچشی لازم چه قدر است. برای این منظور نیروهای وارد بر یک شیار روی پیچ که آن را باز کردیم بررسی می کنیم



که F در اینجا همان جمع نیروهایی است که پس از



Subject:
Year. Month. Date. ۲۳

جدا کردن دروه از استوانه‌ی پیچ تنش قائم ایجاد می‌کند و P نیرویی می‌باشد که شافت گرده ارش ترکی

حاصل از جدا کردن دروه‌های باشد. با نوشتن روابط تعادل:

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma F_x = 0 \Rightarrow F_f \cos\lambda + N \sin\lambda = P \\ \Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_f \sin\lambda - N \cos\lambda = F \end{array}\right\} \xrightarrow{F_f = \mu N} P = \frac{\sin\lambda + \mu\cos\lambda}{-\cos\lambda - \mu\sin\lambda} \times F = \frac{\tan\lambda + \mu}{1 - \mu\tan\lambda} \times F$$

$$\xrightarrow{\mu = \tan\varphi} P = \tan(\lambda + \varphi) \times F$$

مقدار گشتاوری که برای بلند کردن F (بار) و غلبه بر اصطکاک لازم است T می‌باشد.

$$T = P \times \frac{d}{2} \Rightarrow T = \frac{F d \tan(\lambda + \varphi)}{2}$$

حالا فرض می‌کنیم پیچ بسته شده است مقدار نیرویی که از طرف جای پیچ به پیچ وارد می‌شود عبارت است از:

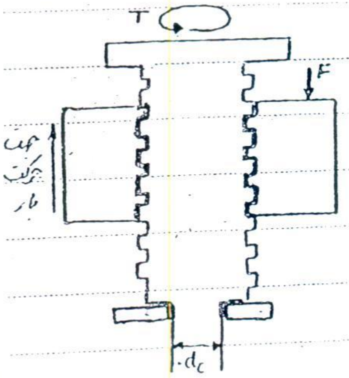
$$P = \tan(\varphi - \lambda) \times F$$

اگر $\lambda < \varphi$ باشد شیب پیچ آن قدر کم است که نیروی اصطکاک غلبه کند و از شل شدن پیچ خود پیچ باز نمی‌شود که به این حالت خودقفلی (self locking) می‌گویند. اگر $\lambda > \varphi$ باشد آنگاه مقدار P منفی می‌شود که این نشان دهنده‌ی آن است که پیچ در جهت خلاف تنش گشتاور پیچشی وارد می‌شود و باعث باز شدن پیچ می‌شود.

Subject:

Year. ۸۷ Month. ۲ Date. ۱۰ ( )

برای اینکه بتوان بار را بالا یا پایین برد لازم است پیچ ثبت شود. از این منظور مثلاً انتهای پایین پیچ را یاتاقان سایشی می‌کند. حالا در حین چرخش گشتاور T علاوه بر غلبه کردن بر نیروی F بر اصطکاک یاتاقان نیز باید غلبه کند پس داریم:



$$T = P\frac{d_m}{2} + (F \times \mu)\frac{d_c}{2} = \frac{F}{2}\left(\tan(\varphi+\lambda)d_m + \mu d_c\right)$$

که در رابطه‌ی بالا d_c قطری است که در آن یاتاقان اعمال شده است و μ ضریب اصطکاک است. برای غلبه بر نیروی ثابت F و کم کردن گشتاور پیچشی T می‌توان دو کار انجام داد: ۱. قطر پیچ را کوچک کرد که چون $\tan\lambda$ تابعی از قطر است قطر آن نیز تغییر می‌کند لذا این کار در دنده مناسب نیست ۲. می‌توان ضریب اصطکاک را در یاتاقان و در دنده‌ها کم کرد. برای کم کردن ضریب اصطکاک در دنده‌ها می‌توان از بالسکرو استفاده کرد. همان طور که گفته شد بالسکروها اصطکاک لغزشی بین قطعه و دنده‌ها را تبدیل به اصطکاک غلتشی می‌کند. برای کم کردن اصطکاک در یاتاقان می‌توان به جای یاتاقان سایشی از بلبرینگ تراست استفاده نمود. بلبرینگ تراست در واقع دو صفحه است که بین آنها ساچمه قرار دارد. با این کار سیستم خودقفلی خود را از دست می‌دهد. در پیچ‌های بالسکرو لقی بین قطعه‌ها کمتر است. در مورد دنده پیچ‌ها

PAPCO

NO

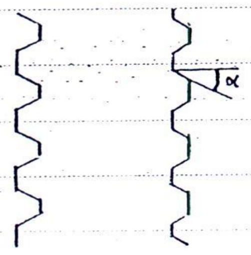
Subject:

Year. Month. Date.

می توان نوشت :

$$W_{in} = T \times 2\pi \,,\; W_{out} = F \times l \Rightarrow \eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100 = \frac{F \times l}{T \times 2\pi} \times 100 = \frac{F \times l}{F \times (\tan(\varphi+\lambda)\frac{d_m}{2}) \times 2\pi} \times 100$$

$$= \frac{l}{\tan(\varphi+\lambda)\frac{d_m}{2} \times 2\pi} \times 100 \Rightarrow \eta = \frac{\tan\lambda}{\tan(\varphi+\lambda)} \times 100$$



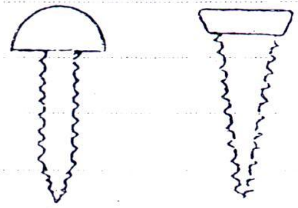
تمام روابطی که تا هم اکنون به دست آوردیم مربوط به پیچ های دنده مربعی بود. اگر دنده ها ذوزنقه ای باشند خواهیم داشت:

$$T = F \times \frac{d_m}{2} \left(\frac{\tan\lambda + \tan\varphi \sec\alpha}{1 - \tan\varphi \tan\lambda \sec\alpha} \right)$$

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos\alpha}$$

اتصالات

معمولاً اتصالات به سه دسته تقسیم می شوند: ۱- اتصال دائم: جوش نمونه ای از این نوع اتصال است ۲- اتصال نیمه دائم: پرچ کاری مثالی از این دسته است ۳- اتصال موقت: پیچ و مهره جزو این دسته از اتصالات هستند. در اتصال موقت هدف این است که در هر زمان دلخواه بتوان اتصال را جدا نمود. پیچ و مهره به دو دسته تقسیم می شوند: I) screw: در این نوع پیچ، خود پیچ نقش مهره را در قطعه بازی کند: این نوع پیچ ها یا مخروطی هستند یا انتهای مخروطی دارند. در همه حالت ها نوک تیز دارند یا شیار روی آنهاست

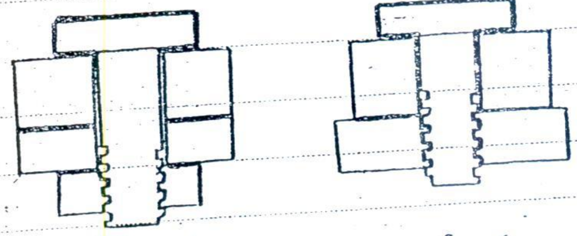


Subject :

Year. Month. Date. ( )

در نوع دوم تا حدود ۲٫۵ الی ۳ برابر بیشتر است. II) Bolt : قطعه با مهره طرف دیگر دنده‌ای دارد.

این نوع پیچ و مهره به دو نوع تقسیم می‌شوند. در نوع اول پیچ و مهره هر دو با هم قطعه یا قطعات را به هم سفت می‌کنند. در نوع دوم یکی از قطعات دنده شده است و خود کار مهره را انجام می‌دهد.



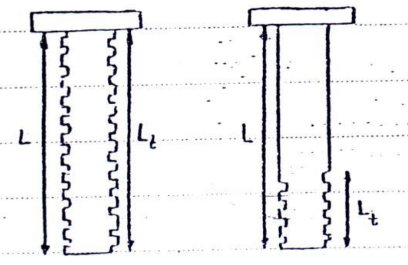
برای Boltها دو استاندارد وجود دارد: ۱ـ استاندارد متریک ۲ـ استاندارد اینچی

پیچ M ۸ × ۱٫۲۵ - ۸.۸ نمونه‌ای از پیچ در استاندارد متریک است که در آن M علامت مشخصه‌ی نوع استاندارد است. عدد ۸ در واقع قطر اسمی خارجی پیچ است. ۱٫۲۵ میزان گام یا پیشروی پیچ است. در این استاندارد معمولاً سه نوع پیشروی برای هر قطر خارجی مشخص وجود دارد که عبارت است از پیچ‌های معمولی، دنده ریز و دنده درشت. عدد ۸.۸ بیان‌کننده‌ی جنس ماده‌ای است که پیچ از آن ساخته شده است. برای این پیچ حدوداً $S_u = 800$ و $S_y = 0.8 \times 800\ MPa$ می‌باشد.

پیچ $D \times N$ _ UN F نمونه‌ای از پیچ در استاندارد اینچی است که در آن U_N علامت مشخصه‌ی نوع استاندارد است. F بیان‌کننده‌ی ریزی دنده‌ها می‌باشد در مورد F (Fine) منظور دنده ریز است. اگر به جای F : C (Corse)

PAPCO

باشد منظور دنده درشت و اگر EF (Extra Fine) باشد منظور خیلی ریز باشد. اگر در این قسمت چیزی نوشته نشود منظور دنده نرمال می باشد. D بیان کننده ی قطر خارجی پیچ است. N بیان کننده ی تعداد دنده در واحد طول می باشد یا به عبارت دیگر بیان کننده ی تعداد دنده ها در یک اینچ است. در تقسیم بندی دیگر Bolt ها را

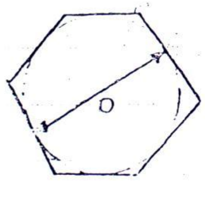


را بر اساس تعداد دنده به دو دسته ی تمام دنده و نیمه دنده تقسیم می کنند. منظور از L طول استوانه و منظور از L_t طولی از پیچ که دنده شده است می باشد. برای پیچ های نیمه دنده داریم:

در استاندارد متریک: $L_t = \begin{cases} 2D+6 & L \le 125 \\ 2D+12 & 125 < L < 200 \\ 2D+25 & L \ge 200 \end{cases}$

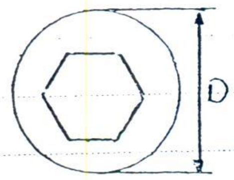
در استاندارد اینچی: $L_t = \begin{cases} 2D+\frac{1}{4}'' & L \le 6'' \\ 2D+\frac{1}{2}'' & L > 6'' \end{cases}$

در تقسیم بندی نوع سوم پیچ ها را بر اساس سر پیچ تقسیم بندی می کنند:

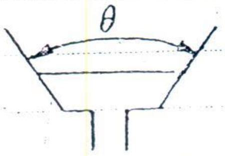


پیچ شش گوش: در این نوع پیچ نیرویی که به پیچ وارد می شود روی دایره ای به قطر D به پیچ منتقل می گردد. اگر قطر اسمی پیچ را d در نظر بگیریم برای پیچ شش گوش داریم: $D \simeq 1.5d$

Subject :
Year. Month. Date. ( )

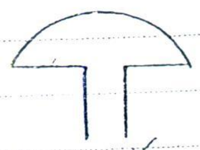


۲- پیچ آلن: در این نوع پیچ به اشکال مختلف نظیر چند ضلعی های منتظم و یا شیار خورشیدی است که همه ی آنها در داخل یک دایره به قطر D در می شوند. خیلی از اوقات D=d است که این بدان معناست که پیچ می تواند به صورت کامل درون سوراخ برود و هیچ اثری از آن بر روی قطعه باقی نماند. در Set Screw از این شیوه استفاده می شود.

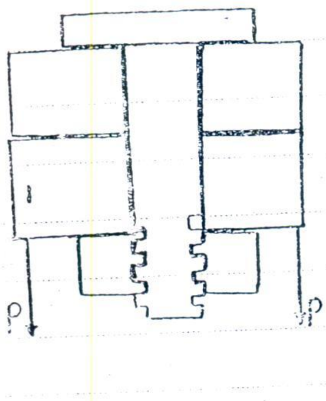


۳- پیچ سر خزینه ای: در پیچ سر خزینه ای زاویه θ بین ۸۰ تا ۸۵ درجه است. از این پیچ در مواردی استفاده می شود که می خواهیم سر پیچ به داخل قطعه فرو رود.

۵- پیچ سر نیم کره:

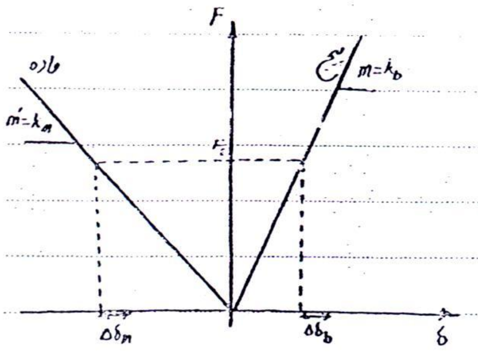


۴- پیچ سر عدسی:



حال از محاسبه ی مقاومت یک پیچ که مهره ای تحت بارگذاری روبه رو ی بر داریم. مهره را در شکل روبه رو سفت می کنیم واضح است که هر مقدار پیچ کشیده شود قطعه فشرده می شود. این مقدار نیروی اولیه مقدار سفت شدن پیچ و میل از اعمال بار و نیروی خارجی (P=0) را F_i یا پیش بار پیچ می نامند. مقداری از این پیش بار بسته به جنس قطعات در قطعه ی بالایی و مقداری در قطعه ی پایینی وارد می شود. با فرض الاستیک

Subject:
Year. Month. Date. ۷۴



بودن قطعه و پیچ در اثر نیروی F_i تغییر طولی در قطعه و پیچ به وجود می‌آید که با نیروهای وارد بر آنها متناسب است.

اگر ضرایب سختی معادل برای قطعه و پیچ را به ترتیب k_m و k_b بنامیم می‌توان نمودار روبه‌رو را برای این دو رسم کرد. حالا نیروی P را در جهت نشان داده شده یعنی در جهت جدا کردن مجموعه وارد می‌کنیم. اگر کاهش فشردگی در قطعه را P_m و افزایش کشش در پیچ را P_b بنامیم خواهیم داشت: $P_m+P_b=P$ (I)

حالا می‌خواهیم ببینیم مجموعه تحت نیروی P پیچ را می‌شکند یا خیر. چون مجموعه تحت نیروی P به صورت یکپارچه تغییر طول می‌دهد داریم:

$$\Delta\delta_m=\Delta\delta_b \Rightarrow \frac{P_m}{k_m}=\frac{P_b}{k_b} \quad (II)$$

$$(I),(II):\quad P_b=\frac{k_b}{k_b+k_m}\times P \quad , \quad P_m=\frac{k_m}{k_b+k_m}\times P$$

اگر F_b و F_m را به صورت مجموع نیروهای وارد بر پیچ و قطعه پس از اعمال نیروی P بدانیم آنگاه داریم:

$$F_b=F_i+\frac{k_b}{k_b+k_m}\times P=F_i+CP \qquad F_m=-F_i+\frac{k_m}{k_b+k_m}\times P=-F_i+(1-C)P$$

بیشترین مقدار نیروی P وقتی است که دو قطعه در حال جدا شدن باشند در این حالت:

$$F_m=0 \Rightarrow F_i=(1-C)P_{Max} \Rightarrow F_b=(1-C)P_{Max}+CP_{Max}=P_{Max}$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

این بدان معناست که اگر پیچ بتواند این نیرو را تحمل کند پیچ و مهره به حد کافی قوی هستند. و در صورتی که بشکند پیچ و مهره برای تحمل این اتصال ضعیف هستند. حال به محاسبه‌ی k_b و k_m و F_i می‌پردازیم

اگر میله پیچ یکنواخت باشد با استفاده از قانون هوک برای پیچ داریم:

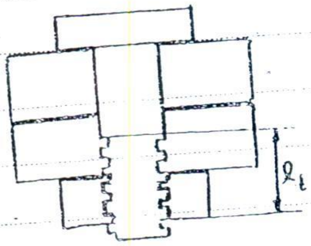
$$k_t = \frac{AE}{l}$$

حال اگر پیچ نیمه رزوه باشد برای بدست آوردن سختی کل از سختی معادل استفاده می‌کنیم:

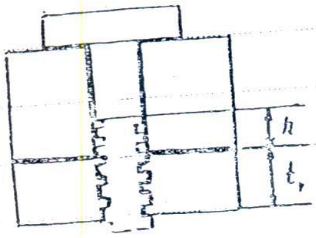
$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \Rightarrow k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d \times l_t + A_t \times l_d}$$

در رابطه‌ی بالا A_d و A_t به ترتیب مساحت مقطع پیچ رزوه نشده و رزوه شده است و l_d و l_t نیز به ترتیب طول پیچ رزوه نشده و رزوه شده می‌باشند.

برای تعیین l_t دو حالت متفاوت وجود دارد. حالت اول وقتی است که دو قطعه توسط یک مهره در انتها به یکدیگر بسته شده‌اند که در این حالت طول بخش رزوه شده معادل فاصله‌ی سر رزوه تا آخر مهره می‌باشد. در حالت دوم که قطعه‌ی دوم خودش رزوه شده و به عنوان مهره عمل می‌کند



رزوه ها بارهای یکسانی را تحمل نمی‌کنند. رزوه‌ی اول حدود ۳۸ تا ۴۰ درصد بار، رزوه‌ی دوم حدود ۲۰ درصد بار را تحمل می‌کند و این روند ...



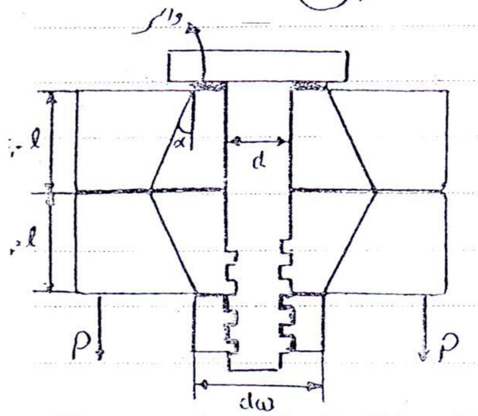
RAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۲۸

به گونه‌ای است که رزوه‌های پیچ به طور کامل بارگذاری را تحمل می‌کنند. برای l_t داریم:

$$l_t = \begin{cases} h + t_2/2 & t_2 < d \\ h + d/2 & t_2 > d \end{cases}$$

که در رابطه‌ی فوق h مقداری از رزوه است که داخل قطعه قرار گرفته است یا به عبارت دیگر از سر تا جایی رزوه شده تا قطعه‌ی دوم می‌باشد. t_2 ضخامت قطعه‌ی دوم است و d قطر پیچ می‌باشد. حالا به محاسبه‌ی سختی قطعه می‌پردازیم. همان طور که در شکل دیده می‌شود



در عمل وقتی قطعه تحت فشار قرار می‌گیرد نیرو و در واقع آن تنش بر روی یک مخروط پخش می‌شود که شیب این مخروط α می‌باشد. مقدار α به کمک آزمایش معمولاً بین ۲۵ تا ۳۰ درجه است. پس داریم:

$$\int_0^{t_1} d\delta = \int_0^{t_1} \frac{-P\,dx}{AE} \xrightarrow{\text{پس از انتگرال‌گیری}} k_m = \frac{\pi d E \tan\alpha}{2\ln\left(\frac{(l\tan\alpha + d_w - d)(d + d_w)}{(l\tan\alpha + d_w + d)(d - d_w)}\right)} \xrightarrow{\alpha = 30^\circ}$$

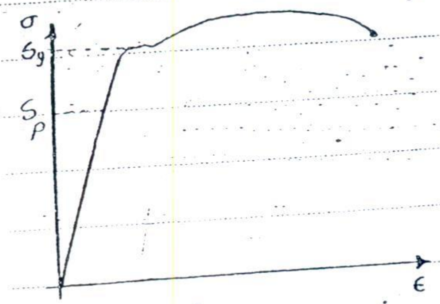
$$k_m = \frac{0.577\pi d E}{2\ln\left(5\,\frac{0.577l + 0.5d}{0.577l + 2.5d}\right)} \xrightarrow{\text{پس از ساده‌سازی}} \frac{k_m}{Ed} = A\exp\left(B\frac{d}{l}\right)$$

که A و B در رابطه‌ی بالا ثابت‌هایی هستند که برای حالت‌های مختلف در جدول ۸-۸ کتاب آمده است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

همان طور که گفته شد بیشترین نیروی وارد به پیچ در حالت $F_m=0$ است که این نیرو برابر همان P خواهد بود. تنش کششی در این حالت در پیچ $\frac{P}{A}$ خواهد شد که باید کمتر از استحکام تسلیم ماده باشد.

برای استحکام پیچ یک مقدار جدید به نام S_p تعریف می کنیم که آخرین نقطه ای است که ماده رفتار خطی دارد و معمولاً مقدار آن حدوداً برابر $S_p = 0.95 S_y$ است.



دلیل عدم استفاده از S_y این است که در هنگامی که تنش ماده به S_y می رسد ۰٫۲٪ کرنش در ماده ایجاد شده است که به دلیل ایجاد تفاوت در گام رزوه های پیچ در این تنش دیگر پیچ و مهره در یکدیگر روان کار نمی کنند پس در نهایت داریم:

$$\frac{P}{nA_t} < S_p \quad \text{یا} \quad P < n \times A_t \times S_p$$

که در این رابطه A_t مساحت دایره ای با قطری بین قطر ماکزیمم و قطر مینیمم است. n تعداد پیچ ها می باشد و همان طور که گفته شد P نیروی وارد بر پیچ است.

تذکر: گرید پیچ ها را معمولاً به سه دسته تقسیم می کنند: ۱. پیچ های ساختمانی (مثلاً: ۴٫۶ و ۴٫۸ و ۵٫۸) استحکام نهایی این دسته معمولاً بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ مگاپاسکال و استحکام تسلیم آنها بین ۲۴۰ تا ۴۰۰ مگاپاسکال قرار دارد واضح است که این پیچ ها نیروی زیادی را نمی توانند تحمل کنند. ۲. پیچ های صنعتی (مثلاً: ۸٫۸ و ۶٫۸)

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۴۴

این پیچ ها را معمولاً مستقیماً و بدون عملیات حرارتی از روی فولادهای مرغوب می سازند. ۳- پیچ های صنعتی سنگین (مثلاً: ۱۲٫۹ و ۱۱٫۹ و ۱۰٫۹ و ۹٫۸) این پیچ ها با فولادی که بر روی آن عملیات حرارتی انجام شده است ساخته می شوند.

در مسائل طراحی معمولاً تنها داده ی مسأله مقدار بار می باشد و مقدارهای نظیر تعداد پیچ و نوع پیچ در دست طراح می باشد.

مثال: در قسمتی از یک جرثقیل که قرار است بار ۱۰ ton را تحمل کند در اتصال از پیچ و یک ورق با ضخامت ۱۵mm استفاده می شود. یک طراحی مناسب برای پیچ و این اتصال ارائه کنید.

$$P = mg \times F.S = 10000 \times 10 \times 5 = 500 \times 10^3$$

گرید ۸.۸ را انتخاب می کنیم: $S_u = 800\,MPa \Rightarrow S_y = 0.8 S_u = 640\,MPa \Rightarrow S_p = 0.85 S_y \approx 500\,MPa$

$$n \times A_t \times S_p > P \Rightarrow n \times A_t \times 500 \times 10^6 > 500 \times 10^3 \Rightarrow n A_t > 10^3\ mm^2$$

با مراجعه به جداول ۸-۱ و ۸-۲ و با توجه به اینکه برای یک جرثقیل و یک ورق ۱۵ mm قطر خارجی بهتر است کمتر از ۱۲mm نباشد (چون کمتر از ۱۲ mm بسیار نازک است) چند انتخاب پیشنهاد می کنیم.

I) پیچ: $M12 \Rightarrow A_t = 84.3 \Rightarrow n > 12 \Rightarrow$ تعداد پیچ ها زیاد است

Subject:
Year. Month. Date. ( )

II) پیچ : $M16 \Rightarrow A_t = 157 \Rightarrow n > 6 \Rightarrow n = 7$

دلیل انتخاب نکردن ۷=n این است که اگر ۷=n باشد تقارن پیچ ها از دست می رود.

III) پیچ : $M20 \Rightarrow A_t = 245 \Rightarrow n > 4$

۴تا پیچ M20 با ضریب اطمینان ۱۴,۸ انتخاب مناسبی به نظر می رسد.

حالا سوال این است که یک پیچ را تا چه مقدار سفت کنیم یا به عبارت دیگر مقدار F_i چقدر باشد؟

$$F_i = \begin{cases} 0.75(A_t \times S_p) & \text{برای پیچ هایی که باز و بسته می شوند} \\ 0.9(A_t \times S_p) & \text{برای پیچ هایی باز و بسته نمی شوند} \end{cases}$$

باید توجه کرد که مقدار P_{Max} مقداری ثابت است و در واقع نباید بار وارد را فقط با محاسبه ی F_i می گیم
که چه میزان از نیروی P_{Max} در اثر این بستن در پیچ به وجود آید و چه مقدار در اثر بارگذاری. در هر
صورت باید توجه کرد که: $0.6 < \frac{F_i}{S_p \times A_t} < 0.9$ باشد. دلیل اینکه حتما باید از ۰٫۹ کمتر باشد
این است که ممکن است در حین سفت کردن به پیچ نیرویی بیشتر از P_{Max} وارد شود و پیچ می شکند و کمتر
از ۰٫۶ نیز نباید باشد زیرا در این صورت در مدت زمان کمی پیچ شل می شود لذا برای اطمینان از
اینکه نیروی F_i اصطکاک لازم برای جلوگیری از شل شدن را تامین می کند این مقدار را بیشتر از ۰٫۶

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۴۵

انتخاب می کنیم. حالا سوال اینجاست که چقدر گشتاور وارد کنیم تا پیش بار F_i در قطعه و پیچ به وجود آید. این سوال را قبلاً پاسخ دادیم و بیان کردیم که به ضریب اصطکاک و جنس رزوه ها بستگی دارد ولی در اینجا برای محاسبه ی T یک عبارت ساده پیشنهاد می کنیم:

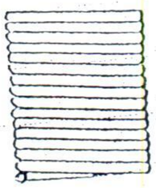
$$T = k F_i d$$

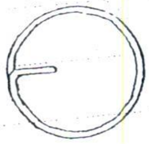
که در عبارت بالا d قطر پیچ است. ضریب $k = 0.2$ (برای پیچ های دنده ریز) است. برای اطلاع دقیق از مقادیر K می توان به جدول 8-15 کتاب مراجعه کرد. برای محاسبه ی گشتاور پیچشی وارد شده به پیچ از آچار ترک متر استفاده می شود. باید توجه کرد که در هنگام بستن پیچ ها دو نکته را رعایت کرد. این نکات عبارت اند از: ۱- $6d >$ فاصله ی مرکز پیچ ها $> 3d$ ۲- $(2 \sim 2.5)d <$ فاصله ی مرکز پیچ تا لبه ی ورق

معمولاً جنس مهره نرم تر از جنس پیچ است و دلیل آن این است که اگر قرار بر خراب شدن یکی از آن دو باشد مهره خراب شود نه پیچ.

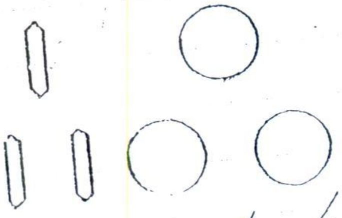
در اتصال دو قطعه می توان با سوراخ کردن قطعات و استفاده از پیچ و مهره دو قطعه را متصل کرد. اگر قطعه فولادی باشد می توان داخل قطعه را رزوه کرد و به جای مهره از قطعه ی دوم استفاده کرد. اگر قطعه چدنی باشد می توان از پیچ حفری استفاده کرد. اگر جنس قطعه از آلومینیوم باشد از هلیکوال استفاده می کنند به این صورت که هنگام رزوه کاری جای سوراخ را مقداری بزرگتر از قطر خارجی پیچ می زنند

Subject:
Year. Month. Date.





و در داخل آن یک فنر که دنده‌های آن مشابه شکل کاملاً به هم چسبیده است و در بالا و پایین خود دو زائده مطابق شکل دارد را در داخل سوراخ فرو می‌کنند. سپس این دو زائده را می‌شکنند و پیچ را داخل سوراخ که فنر داخل آن است می‌پیچانند و می‌خواهند پیچ را بار کنند. فنر درون آلومینیوم فرو رفته و خودش می‌پیچد و به این ترتیب پیچ بار می‌شود. معمولاً برای رزوه کردن پیچ‌ها از دو روش استفاده می‌کنند. روش اول حدیده‌کاری می‌باشد. در روش دوم از غلتک‌ها استفاده می‌شود. در این روش سه غلتک وجود دارد

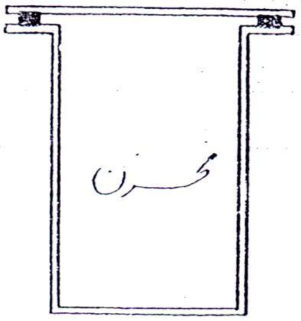


که اسوانه داخل این سه غلتک قرار می‌گیرد و با چرخاندن اسوانه‌ها چون نوک آنها همان طور که نشان داده شده است تیز می‌باشد روی اسوانه رزوه می‌زنند. زاویه‌ی شیب غلتک‌ها با زاویه‌ی رزوه‌ی مورد نظر تنظیم می‌شود. در مورد پیچ‌ها مثلاً اگر پیچ ۱۲ ای بخواهیم می‌بایست یک اسوانه با قطر حدود ۱۱٫۹ انتخاب کنیم. برآمدگی‌ها توسط خود غلتک روی پیچ ایجاد می‌شود. در این روش به دلیل کار سرد کردن روی رزوه‌ها انجام می‌گیرد خواص مکانیکی رزوه بهتر می‌شود.

آب‌بندی

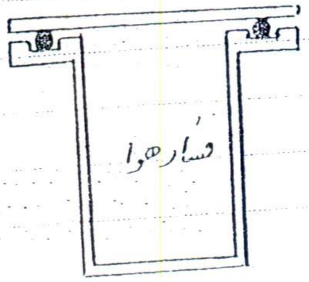
Subject:
Year. ۸۷ Month. ۲ Date. ۱۵ ۳۶

وقتی بخواهید دو قطعه را نسبت به یکدیگر آب بندی کنند از یک قطعه ی سومی که نسبت به دو قطعه ی قبلی نرم‌تر است استفاده می کنند وقتی دو قطعه تحت فشار قرار گیرند قطعه ی نرم سوم چال و فرج آنها را پر می کند. بهترین نوع آب بندی وقتی است که دو قطعه ی اولیه سخت و تخت باشند. معمولاً دو روش برای آب بندی دو قطعه وجود دارد. ۱-۱- استفاده از واشر نرم: این نوع واشر نرمی زیادی دارد. واشر لاستیکی نمونه ای از این نوع واشر است. تحمل این نوع واشر در مقابل نیروی فشاری خیلی زیاد نیست ولی در مقابل ناصافی هایی در ابعاد بزرگ‌تر را پر می کند. چال و فرجی که توسط واشر لاستیکی پر می شود در ابعاد دهم میلی متر است. ۱-۲- استفاده از واشر فلزی: واشر مسی نمونه ای از این نوع واشر است. مثلاً وقتی سر سیلندر را روی سیلندر که از جنس چدن است می بندند از واشر مسی (که نسبت به چدن نرم‌تر است) استفاده می کنند. چال و فرجی که توسط واشر مسی پر می شود در ابعاد صدم میلی متر است. مثلاً اگر بخواهیم مخزنی که فشار داخلی آن حدود ۲ بار است را آب بندی کنیم استفاده از واشر لاستیکی خوب است ولی اگر فشار مخزن به ۷۰ بار برسد ناچاریم علاوه بر واشر لاستیکی از یک واشر فلزی هم استفاده کنیم. همان طور که گفته شد واشر لاستیکی در اثر فشار زیاد له می شود. برای جلوگیری

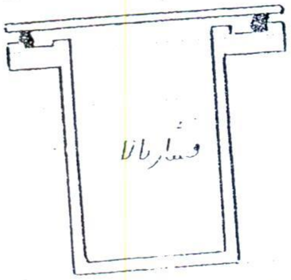


Subject:
Year. Month. Date. ( )

از این اتفاق می توان با این دو نقطه ضعف گذشت با اینکه مساله شکل قبل قسمتی از نقطه ضعف را که قرار است واشر لاستیکی در آن بنشیند را خالی کرد که در هر دو حالت فشار کمتری به واشر لاستیکی وارد می شود. البته جدیدترین روش پیشرفته تری برای آب بندی استفاده می شود که به روش

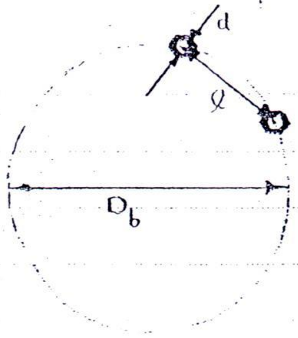


اورینگ معروف است. در این روش از یک واشر لاستیکی با مقطع دایره استفاده می شود. مطابق شکل در این روش در نقطه فرورفتگی به وجود می آوریم و واشر را داخل این فرورفتگی می اندازیم. طراحی به



گونه ای است که مقداری از مقطع دایره ای واشر بیرون از سوراخ قرار گیرد. حالا اگر فشار داخل مخزن زیاد شود سیال واشر را به بیرون هل می دهد که مطابق شکل همین اتفاق باعث آب بندی می شود. در روش های قبل فشار پیچ باعث آب بندی می شد در حالی که در این روش فشار خود سیال عامل اصلی آب بندی است. روش اورینگ روش مناسب تری نسبت به روش قبلی است. ولی نسبت به روش واشر تخت نیاز به دقت بیشتری در طراحی است و نیاز به سطوح خیلی صافی است. پیچ ها را محکم لازم نیست اورینگ می کنند. شور لاستیک (سختی لاستیک) هرچه بیشتر شود لاستیک سفت تر خواهد بود و در فشارهای

Subject:
Year. Month. Date. ۲۷



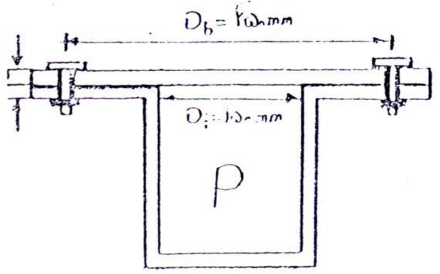
بالا ممکن است ارو... شود (از ...) استفاده شود. برای ایجاد فشار

و پس از آن آب بندی محل پیچ های به کار می بریم.

چیدمان این پیچ ها معمولاً به صورت دایره ای است و

در مورد فاصله ی بین مرکز تا مرکز دو پیچ مجاور سعی می کنیم که

رابطه $5d < \ell = \frac{\pi D_b}{n} < 10d$ را رعایت کنیم. در این رابطه n تعداد پیچ ها است.



مثال: محفظه ای مطابق شکل حاوی یک سیال با

فشار $P = 60 bar$ می باشد. پیچ های مورد استفاده در آب

بندی از گرید ۸.۸ می باشد. یک طراحی مناسب برای

نوع و تعداد پیچ ها ارائه کنید.

مقدار نیرویی که می خواهد این دو قطعه را از هم جدا کند:

$$\text{کل نیروی خارجی} = P_{ext} = p \times A = 60 \times 10^5 \times \frac{\pi \times (0.150)^2}{4} = 11 \times 10^4 N = 110 kN$$

$$S_u = 600 \Rightarrow S_y = 0.8 \times 600 = 480 MPa \Rightarrow S_p = 0.9 S_y = 430 MPa$$

اگر ما کل نیرویی که در هر پیچ به وجود می آید را F_n بنامیم داریم:

$$\frac{F_n}{A_t} \leq S_p \Rightarrow \frac{P_{ext}}{n A_t} \leq S_p$$

Subject:
Year: Month: Date: ( )

$$\Rightarrow nA_t \geq \frac{P_{ext}}{S_p} = \frac{11\times 10^4}{430} = 764\ mm^2$$

با توجه به ضخامت ورق که ۲ سانتی متر است و قطر پیچ بین ۱۰ تا ۳۰ میلی متر باشد.

تعداد پیچ ها برابر است

I) پیچ: $M10 \Rightarrow A_t = 58 \Rightarrow n > 13 \Rightarrow n = 14$

زوج بود ولی انتخاب بدی نیست

II) پیچ: $M16 \Rightarrow A_t = 157 \Rightarrow n > 4 \Rightarrow n = 5$

III) پیچ: $M20 \Rightarrow A_t = 245 \Rightarrow n > 3 \Rightarrow n = 4$

اگر تعداد پیچ ها زوج باشد پیچ ها رو در روی هم قرار می گیرند و سفت کردن آنها مشکل است علاوه بر اینکه تعادل برقرار دارد. در هر صورت انتخاب III را رد می کنیم

$$l \approx \frac{\pi D_b}{nd} = 9.8 \Rightarrow 5 < \frac{\pi D_b}{nd} < 10$$

دو مقدار برای F_i وجود دارد در مقدار اول F_i باید به اندازه ای باشد که بین رزوه ها اصطکاک کافی به وجود آید و مانع باز شدن خود به خودی پیچ شود.

$$F_i = 0.75 A_t S_p = 80\ kN$$

در حالت دوم مقدار F_i باید به گونه ای باشد که آب بندی در طول کار اتفاق بیفتد

$$F_b = F_i + CP \quad و \quad C = \frac{k_b}{k_m + k_b}$$

که در عبارات بالا k_m سختی قطعه و k_b سختی پیچ است. فرض می شود که پیچ تمام رزوه است

Subject:
Year. Month. Date. ۱۴

خواهیم داشت: $k_b = \frac{(\frac{\pi d^2}{4})E}{l} = \frac{(\frac{\pi \times 20^2}{4})\times 207}{2\times 20} = 1500$

که در روابط بالا l مقداری از طول پیچ است که درگیر باشد.

طبق روابط برای سختی ماده خواهیم داشت که $k_m = E\times d\times A e^{(Bd/l)}$ که برای پیچ فولادی با توجه به جدول

A = ۰٫۷۹ و B = ۰٫۶۳ می باشند پس با جایگذاری در روابط: $k_m = 4400$

$$\Rightarrow C = \frac{k_b}{k_b+k_m} = \frac{1500}{1500+4400} = 0.25$$

تذکر: اگر قطر پیچ از ضخامت ورق ها خیلی بزرگتر باشد معمولاً خواهیم داشت: $0.15 < C < 0.25$

$$F_i = F_b - CP = P - CP = (1-C)P = (1-C)\times \frac{P_{ext}}{n} = 20\ kN$$

که پیش بار در نهایت $F_i = 80\ kN$ خواهد شد یعنی وقتی ما پیچ را به اندازه‌ای سفت می کنیم که اصطکاک زروه ها به خاطر بار بزرگ در واقع طرف آب بندی برقرار شده است. حالا اگر به جای پیش بردن بالا که ۲۰kN می باشد مقدار ۹۰kN به دست می آید آنگاه برای آب بندی شدن مخزن می توانیم به جای پیش بار $0.75 S_p$ از $0.9 S_p$ استفاده کنیم یا به عبارت دیگر پیچ را سفت تر ببندیم. در مورد ضریب اطمینان در این مسأله می توان دو نوع ضریب اطمینان بیان نمود: ۱. فشار داخل مخزن را تا چه میزان می توان افزایش داد به طوری که آب بندی حفظ شود ۲. فشار داخل مخزن چه قدر می تواند بیشتر شود به طوری که پیچ ها به تسلیم برسند که در این مورد...

Subject:
Year.　Month.　Date.　( )

علاوه بر آن‌ها در حالت ضریب اطمینان مورد نظر ما خواهند شد.

حالت اول :

حالت دوم : $F_b = F_i + CP$ ⇐ مقدار تنشی که در پیچ بوجود می‌آید = $\sigma_b = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP}{A_t}$

با افزایش بار خارجی نسبت در این حالت بار بیشتر کم که P را به مقداری بالا افزایش یابد بطوری که

تنش داخل پیچ به مقدار S_p برسد تنش می‌توان گفت :

$$S_p = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP \times FS}{A_t}$$

$$430 = \frac{80 \times 10^3}{245} + \frac{0.135 \times 11 \times 10^4 \times FS}{245} \Rightarrow FS = 3.8 \Rightarrow \text{ضریب اطمینان} = 3.8$$

اگر ضریب در حالت اول ۲٫۹ بدست می‌آمد ضریب اطمینان ۲٫۹ می‌شد و در این حالت

سال اندازه‌شناسی کرد.

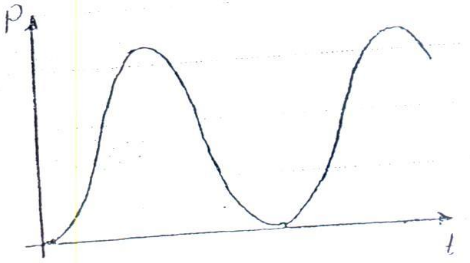
بارگذاری نوسانی در پیچ :

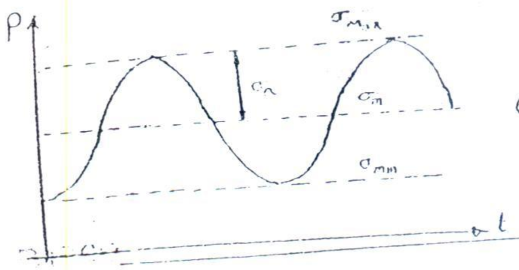
همان طور که می‌دانیم عامل به وجود آمدن پدیده‌ی خستگی

بارگذاری متناوب است. منحنی که هر تک‌ وقت یک بار

در حالی می‌شود نمونه‌ای از بارگذاری متناوب است.

نمونه‌ی نمونه‌های این منحنی یک بارگذاری متناوب





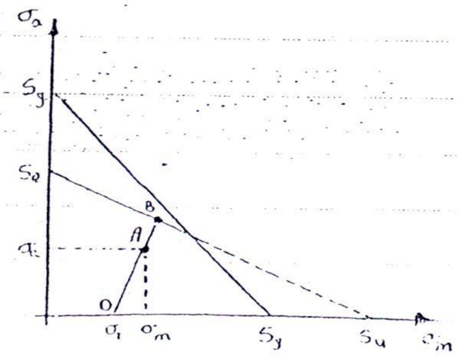
Subject:
Year. Month. Date. ۴۹

قرار دارند که نحوه ی این بارگذاری ها در منحنی پیچ در نمودار صفحه ی قبل آمده است. در مورد پیچ داریم:

$$\sigma_{Max} = \frac{F_i + CP}{A_t} = \sigma_i + \frac{CP}{A_t}$$

$$\sigma_{min} = \frac{F_i}{A_t} = \sigma_i$$

$$\Rightarrow \sigma_m = \sigma_i + \frac{CP}{2A_t} \;,\; \sigma_a = \frac{CP}{2A_t}$$



برای محاسبات معیار گودمن را انتخاب می کنیم. فرض می کنیم نقطه تنش های σ_m و σ_a وارد شده است. حالا قصد داریم ضریب اطمینان را طی این بارگذاری بدانیم. چون طبق روابط بالا رابطه ی بار با تنش رابطه ی خطی دارد در نمودار وقتی بار به صفر برسد تنش در پیچ به σ_i می رسد. نقطه ای که امتداد خط گذرنده از A و O خط گودمن را قطع می کند (یعنی نقطه ی B) بیان کننده ی این مطلب خواهد بود که پیچ توان تحمل می کند بار در اثر بارگذاری استاتیکی. اگر نقطه ی B روی خط تقاطع باشد هم در اثر بار استاتیکی در دوره ی اول خواهد شکست و دلیل این مطلب آن است که در این حالت مقدار بار از S_p عبور کرده است. اما برای محاسبه ضریب اطمینان داریم:

$$\text{ضریب اطمینان} = \frac{OB}{OA}$$

معادله خط گودمن: $\frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_e} = 1 \xrightarrow{\sigma_a = \sigma_m - \sigma_i} \sigma_a = \frac{S_e(S_u - \sigma_i)}{S_u + S_e}$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ضریب اطمینان در خستگی = $n_f = \frac{OB}{OA} = \frac{S_a}{\sigma_a} = \frac{2S_e(S_u A_t - F_i)}{CP(S_u+S_e)}$

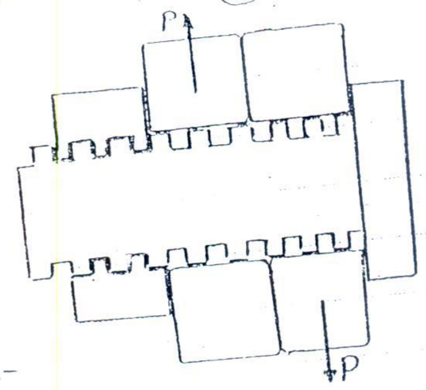
حال فرض می کنیم $F_i=0$ است. در این حالت هر گاه بار خارجی اعمال می کنیم مستقیما به پیچ می رسد.

ضریب اطمینان در خستگی با فرض $F_i=0$ = $n_{f_0} = \frac{2S_e S_u A_t}{P(S_u+S_e)}$

$$\Rightarrow n_f \geq n_{f_0} \iff F_i \leq (1-C)S_u A_t$$

با توجه به عبارت بالا اگر $F_i \leq (1-C)S_u A_t$ باشد ایجاد عمر خستگی در اثر پیش بار کم می شود. به زبان ساده تر اگر در عمل پیچ ها را محکم ببندیم کمتر احتمال کمتری دارد که در خستگی بشکند. پس اگر F_i از مقدار گفته شده بالاتر بود در اثر خستگی نمی شکند و اگر کمتر بود در اثر خستگی خواهد شکست.

حالا حالتی را بررسی می کنیم که نیرویی که به پیچ وارد می شود در جهت محور پیچ نباشد بلکه در راستای عمود بر محور باشد. در این حالت فقط اثر تنش برشی ناشی از نیروی P و تنش دائم ناشی از پیش بار در پیچ داریم.



گشتاور خمشی به دلیل کم بودن فاصله کوپل نیروها صرف نظر می کنیم. پس می توان نوشت:

$$\sigma = \frac{F_i}{A_t}$$

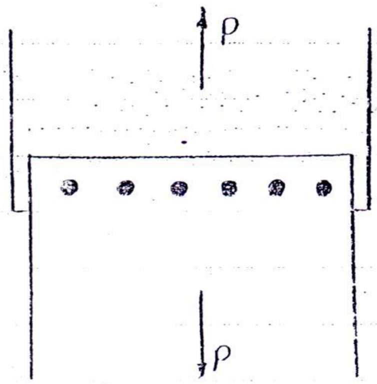
$$\tau = \frac{P}{A_r}$$

Subject:
Year. Month. Date. ۵۰

که در این رابطه A_r مساحت ریشه‌ی پیچ است. با کمک معیار ون مایزز خواهیم داشت:

$$\sigma_{Vm} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{F_i}{A_t}\right)^2 + 3\left(\frac{P_{ext}}{A_r}\right)^2}$$

در حالت کلی $A_r < A_t$ است ولی معمولاً A_r را تقریباً مساوی A_t در نظر می‌گیریم.



مثال: قصد داریم دو ورق به ضخامت 5 mm را توسط تعدادی پیچ به هم متصل کنیم. اگر نیروی کل وارد بر دو ورق P = 5 ton باشد و ضریب اطمینان را FS = 3 در نظر بگیریم، با فرض اینکه کلاس پیچ 5.8 است یک طراحی مناسب برای این حالت ارائه کنید.

$S_p = 0.9 \times 0.8 \times 500 = 360$, $F_i = 0.75(S_p \times A_t) \Rightarrow$ جای‌گذاری در رابطه‌ی بالا

$$\Rightarrow S_p^2 = (0.75 S_p)^2 + 3\left(\overset{F.S}{3} \times \frac{\left(\frac{5\times 10^4}{n}\right)}{A_r}\right)^2 \Rightarrow \frac{15\times 10^4}{nA_r} = \sqrt{(1-(0.75)^2)} \times 360$$

$$\Rightarrow nA_r = \frac{15\times 10^4}{360\sqrt{1-0.75^2}} = 630\ mm^2$$

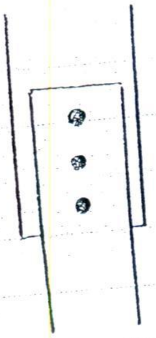
I) پیچ: $M16 \Rightarrow A_r = 144 \Rightarrow n > 4 \Rightarrow n = 5$

II) پیچ: $M20 \Rightarrow A_r = 225 \Rightarrow n > 2 \Rightarrow n = 3$

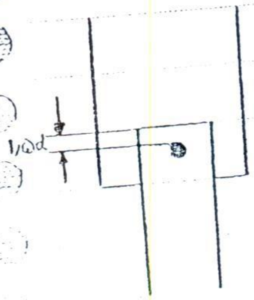
پیچ M25 را بررسی نمی‌کنیم زیرا نسبت به ضخامت ورق بزرگ است. انتخاب II

Subject:
Year. Month. Date. ( )

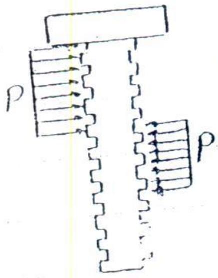
جایی است. چون پیچ ها به صورت عرضی کار گذاشته می شوند هر سه پیچ نیرو تحمل می کنند چون ورق کمی جمع می شود و نیرو را تقسیم می کند ولی اگر پیچ ها را در طول هم قرار دهیم عملاً نیرو به یک پیچ وارد می شود.



دوباره به این نکته اشاره می کنیم که مناسب است که قطر پیچ در حدود ضخامت ورق باشد. معمولاً در بارگذاری که راستای نیرو و محور پیچ بر هم عمود هستند نزدیک ترین پیچ به مرز ورق در فاصله ی حداقل 1.5d از انتهای ورق قرار می گیرد. در این نوع بارگذاری گلوی پیچ نسبت به سایر قسمت های



پیچ حساس تر است زیرا در این ناحیه هم تنش برشی وجود دارد و هم تنش خمشی. البته در این ناحیه ضریب تمرکز تنش نیز در هر دوی این تنش ها ضرب می شود. در عمل برای کاستن از خطر این ناحیه ها در



مرحله یک فیلت ایجاد می کنند و ضریب اطمینان ۳ در نظر می گیرند. آمار نشان می دهد که ۶۵ تا ۸۰ درصد شکست در پیچ ها در این نوع بارگذاری از گلوی پیچ رخ می دهد. معمولاً شکل ارائه شده پیچ در بار P شکست ورق از وسط قطع می شود چون ورق ها معمولاً نرم تر از پیچ ها هستند.

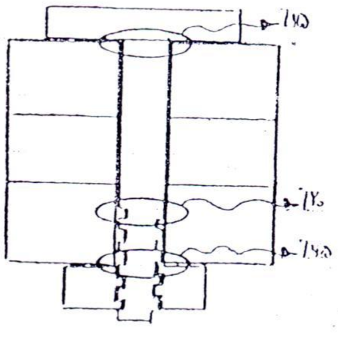
Subject:
Year.۸۷ Month.۲ Date.۱۷ ۵b

درمورد پیچ ها ضرایب تمرکز تنش را از جدول زیر حساب می کنیم.

ضریب تمرکز تنش در گلگی پیچ	ضریب تمرکز تنش در دنده ها		گرید پیچ	
	نورد سرد	تراشکاری	SAE	متریک
۲٫۱	۲٫۲	۲٫۸	۰ تا ۲	۳.۶ تا ۵.۸
۲٫۳	۳٫۰	۳٫۸	۴ تا ۸	۶.۶ تا ۵.۹

تذکر: اگر دنده های پیچ معمولی باشند آن را بصورت مثلاً M۶ نشان می دهند و اگر دنده ها ظریف

دنده باشند آن را بصورت مثلاً M۶ نشان می دهند.



حالا پیچی را مورد بررسی قرار می دهیم که تحت بار محوری قرار

گرفته است. همان طور که در شکل مشاهده می شود درصد شکست

پیچ در ناحیه های مختلف داده شده است یعنی همان طور که قبلاً گفته

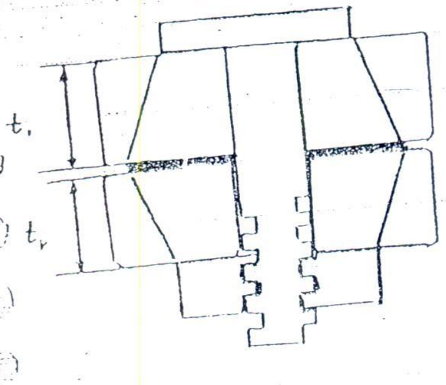
شد در هنگام سفت کردن حدود ۷۰٪ پیچ ها از گلگی می شکند در

حالت نشان داده شده در شکل حدود ۶۰٪ بار را دنده ی اول مهره حدود ۲۵٪ بار را دنده ی دوم

و مابقی بار در دنده های بعدی تقسیم می شود پس عملاً بار در دنده ی اول تحمل می شود

Subject :
Year . Month . Date . ( )

به همین خاطر است که مهره ها را از جنس نرم انتخاب می کنند تا با تغییر شکل بار را در دندانه های بعدی تقسیم کنند یعنی عملاً اگر جنس مهره سخت باشد تمام بار توسط دندانه ی اول تحمل می شود. در اتصال چند قطعه علاوه بر اینکه قطعه را می توان دندانه کرد. دلیل اینکه ضریب تمرکز تنش در روش نورد کاری در دندانه ها کمتر از کار براده برداری است این می باشد که در براده کاری لبه ی دندانه ها تیز می شود در حالی که در روش نورد کرد لبه ی دندانه ها یک فیلت می خورد. حالا حسابی دیگری را بررسی می کنیم. فرض می کنیم سه قطعه داریم که قطعه ی دوم در واقع واشری است که بین دو قطعه قرار گرفته است



اگر ضخامت قطعه ی اول را t_1 و سختی آن را k_1، سختی واشر را k_2 و ضخامت قطعه ی سوم را t_3 و سختی آن را k_3 بنامیم خواهیم داشت:

$$\frac{1}{k_{m\,(\text{کل})}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}$$

حالا اگر حساب حالتی که قبلاً بررسی کردیم قطعه ی دوم دندانه شده باشد و به جای مهره از آن استفاده شود برای طول گیرداری دندانه شده خواهیم داشت:

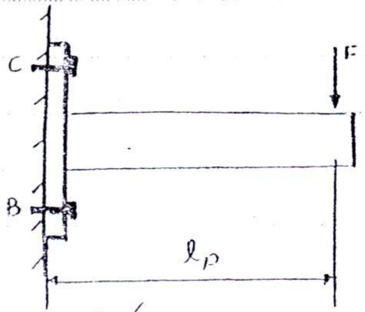
$$l_t = \begin{cases} h + \frac{t}{2} & t < d \\ h + \frac{d}{2} & t > d \end{cases}$$

بارگذاری غیرمستقیم

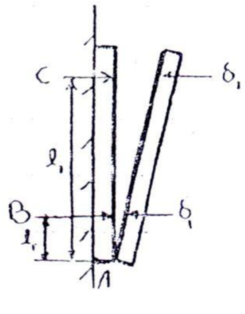
در این قسمت دو نوع بارگذاری غیرمستقیم را بررسی می کنیم که عبارت است از: ۱. کشش ناشی از خمش

۲. برش ناشی از پیچش

کشش ناشی از خمش در پیچ



تیری مشابه شکل زیر را در نظر بگیرید که به یک صفحه جوش داده شده است و این صفحه به کمک چند پیچ مطابق شکل به دیوار اتصال پیدا کرده است. اگر به انتهای تیر نیروی F را وارد کنیم تیر تحت خمش قرار می گیرد و پیچ تحت کشش کشش قرار خواهد گرفت. اگر فرض کنیم که صفحه صلب است تحت این بارگذاری صفحه مطابق شکل حول نقطه A دوران می کند. بالاترین ردیف پیچ بیشترین نیرو را تحمل می کند و در نتیجه آن بیشترین کرنش را نیز خواهد داشت. لذا تحت این بارگذاری اگر ردیف بالایی پیچ سالم بماند سایر پیچ ها نیز سالم می مانند. به کمک تعادل گشتاور حول A داریم:



$$F \times l_p = F_1 l_1 + F_2 l_2$$

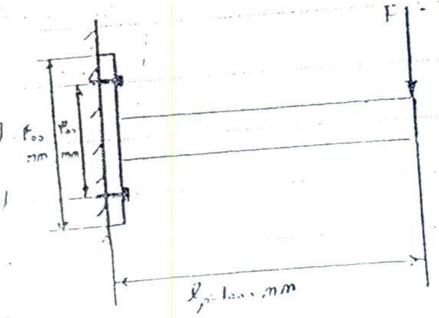
چون فرض شد که ورق صلب است با فرض یکسان بودن نوع پیچ ها داریم:

$$\frac{F_1}{\delta_1} = \frac{F_2}{\delta_2}$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

که در روابط قبل F_1 و F_2 به ترتیب نیروهای وارد بر پیچ در ردیف بالا و پایین است. ولی فرض صلب بودن صفحه فرض مناسبی نیست و در واقع صفحه انحنا پیدا می کند. برای اصلاح این خطا به جای فرض صلب بودن صفحه فلزی فرض می کنیم که دوران حول پایین ترین ردیف پیچ ها یعنی نقطه‌ی B رخ می دهد.

مثال: مطابق شکل تیرآهن I200 به کمک یک صفحه و نیز به کمک دو ردیف پیچ که در هر ردیف تعداد n پیچ وجود دارد به دیوار اتصال پیدا کرده است. اگر نیروی F = 5kN باشد و ضخامت صفحه t=20mm باشد و فرض کنید کلاس پیچ ها ۵.۶ است یک طراحی مناسب برای پیچ ها ارائه کنید (ضریب اطمینان ۳ فرض شود است)



اگر نیروی وارد بر پیچ های بالا را F_1 بنامیم داریم:

$$F_1 \times 300 = (F \times F.S) \times 1000 \Rightarrow F_1 = 5 \times 10^4 N$$

$$S_u = 500 MPa \Rightarrow S_y = 500 \times 0.6 = 300 MPa \Rightarrow S_p = 300 \times 0.9 = 270 MPa$$

$$\frac{F_1}{nA_t} \le S_p \Rightarrow nA_t \ge \frac{F_1}{S_p} = \frac{5 \times 10^4}{270} = 185 mm^2$$

I) پیچ: $M16 \Rightarrow A_t = 157 \Rightarrow n > 1 \Rightarrow n = 2$

Subject:

Year. Month. Date.

II) پیچ : $M20 \Rightarrow A_t = 245 \Rightarrow n = 1$

چون بهتر است تعداد پیچ ها زوج باشد و هر یک پیچ معادل جواب برقرار می شود پس انتخاب I بهتر است. البته همه ی پیچ ها از یک نوع انتخاب می کنیم یعنی در ردیف پایین هر دو تا پیچ M16 می بندیم.

حالا به محاسبه ی پیش بار لازم در پیچ که در موقع سفت کردن پیچ باید ایجاد کنیم می پردازیم:

مقدار پیش بار در صورت عدم جدا شدن قطعه و لوار = $F_i' = (1-C)P = (1-C)\frac{F}{n} \overset{C=0.25}{=} 18\,kN$

قبلا گفتیم اگر مقدار ضخامت ورق و پیچ تقریبا برابر باشد $0.15 < C < 0.25$ است که ما در اینجا به طور تقریبی $C = 0.25$ در نظر گرفتیم

مقدار پیش بار در صورت عدم شل شدن پیچ = $F_i'' = 0.75\, A_t S_p = 25\,kN \Rightarrow F_i = 25\,kN$

$T = k F_i d \overset{k=0.2}{=} 0.2 \times 25 \times 16 = 81.3\ N.m$! برای K حساب می کنیم

حالا به بررسی اثر پیچشی در پیچ می پردازیم:

$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 81}{\pi \times (16)^3} = 99\,MPa$

$\sigma = \frac{F_i}{A_t} = \frac{25 \times 10^3}{151} = 162\,MPa$

در روابط بالا τ ناشی از گشتاور پیچشی است و σ ناشی از نیروی کششی ناشی از F_i در پیچ

$\sigma_{vm} = \sqrt{(162)^2 + 3 \times (99)^2} = 237 < S_p = 270$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ضرایب تمرکز تنش در پیچ ها فقط برای خستگی است و در بارگذاری استاتیکی آنها را لحاظ نمی کنیم

اگر کلاس ۲۳۷ به جوابی درست نمی انجامد ۲۷۰ در نظر گرفته شد آنگاه به جای $0/75 S_p A_t$ مثلاً $0/755 S_p A_t$ $0/75 S_p A_t$

را می گذاشتیم تا F_p کم شود و در نهایت σ_{Vm} کمتر گردد ولی اگر این اختلاف خیلی زیادی گردد ناچار

بودیم که تعداد پیچ ها را بیشتر کنیم. اگر مقدار $l_p = 1000\,mm$ عدد خیلی بزرگی بود مجبور بودیم که برش ناشی از نیروی

F را با مقدار تنش برشی ناشی از پیچش جمع کنیم ولی در این حالت فرض می کنیم تمام تنش برشی ناشی

از نیروی F توسط پیچ های ردیف پایین تحمل می شود پس داریم:

$$\tau = \frac{F_r}{A_r} = \frac{\frac{1}{2}(F \times F.S)}{A_r} = \frac{\frac{1}{2} \times (5 \times 10^3 \times 3)}{144} = 52\,MPa$$

دلیل تقسیم کردن ۲ در صورت این است که در ردیف پایین ۲ پیچ M16 وجود دارد. این مقدار

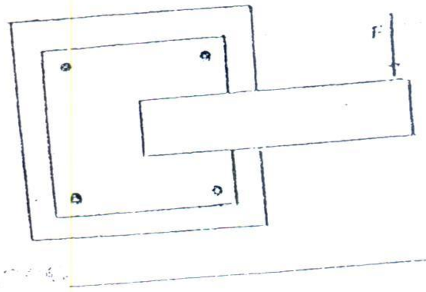
تنش برشی کمتر از تنش برشی در حالت قبل است پس قطعاً جواب می دهد یعنی:

$$\sigma_{Vm} = \sqrt{(192)^2 + 3 \times (52)^2} = 185\,MPa < S_p = 270\,MPa$$

برش ناشی از پیچش در پیچ

نیرو مسأله شکل را در نظر بگیرید که روی یک صفحه دوار

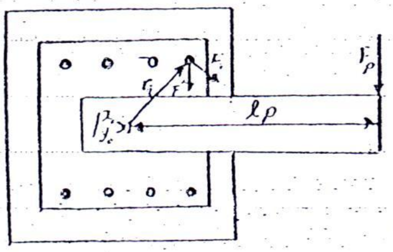
بدنه و آن را در کنار خودش داده اند و این صفحه دیگر



Subject :

Year .   Month .   Date .

چند پیچ به دیوار وصل شده است. اگر به انتهای تیر نیروی F را وارد کنیم تیر تحت خمش قرار می‌گیرد و پیچ تحت برش که ناشی از پیچش صفحه است قرار می‌گیرد.



حالا فرض می‌کنیم شکل صفحه‌ی مقابل را مفروض داریم

این بار صفحه را به کمک n پیچ به دیوار متصل کرده‌ایم

می‌خواهیم نوع پیچ را خودمان تعیین کنیم که مجهول مسائل

حالا: ابتدا مرکز سطح پیچ‌ها (یعنی نقطه‌ی $O(x_0, y_0)$) را بدست می‌آوریم:

$$x_0 = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i} \xrightarrow{\text{اگر } A_i \text{ ها برابر باشند}} \frac{\sum x_i}{n} \qquad y_0 = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} \xrightarrow{\text{اگر } A_i \text{ ها برابر باشند}} \frac{\sum y_i}{n}$$

یک معادله عبارت است از تعادل لنگرها حول مرکز سطح:

$$\sum F_i r_i = F_p l_p$$

که در رابطه بالا r_i فاصله پیچ i ام از مرکز سطح است که برابر است با:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

(n-1) معادله دیگر با کمک دانستن $\frac{F_i}{r_i} = cte$ بدست می‌آوریم:

$$\frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} = \frac{F_3}{r_3} = \dots = \frac{F_n}{r_n}$$

این رابطه نشان دهنده این منطق است که هر چه پیچ از مرکز دوران دورتر شود پس نیروی بیشتری را تحمل می‌کند. حالا n معادله داریم که به کمک آن می‌توانیم F_1 و F_2 و ... F_n را محاسبه کنیم. این نیروها ناشی از لنگر پیچشی می‌باشند که به صفحه وارد می‌شود. علاوه بر آن نیروی برشی

Subject:
Year. Month. Date. ( )

دیگر کاهش از تقسیم نیروی F_p به صورت تنش برشی در هر پیچ ظاهر می شود:

$$F' = \frac{F_p}{n}$$

حالا برآیند این دو نیرو در هر پیچ را بدست می آوریم:

$$F_i = \sqrt{F_i^2 + F'^2 + 2F_iF'\cos\theta_i}$$

که در رابطه ی بالا θ_i زاویه ی بین F' و F_i است. بیشترین مقدار F_i هنگامی رخ می دهد که زاویه ی θ_i کمترین مقدار را بیابد. بیشترین مقدار F_i نشان دهنده ی این است که پیچ i ام خطرناکترین پیچ است به طوری که اگر این پیچ سالم بماند سایر پیچ های سالم خواهند ماند.

$$F = Max\{F_i\}$$

$$\sigma_i = \frac{\overbrace{F_i}^{\text{مقدار پیش بار}}}{A_t} = xS_p \qquad ۰/۶ < x < ۰/۹$$

$$\tau_{Max} = \frac{F}{A_r}$$

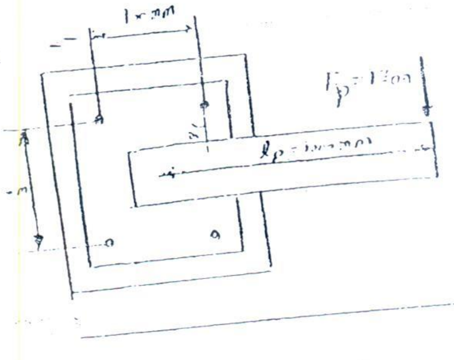
حالا به کمک روابط ون مایزز:

$$\sigma_V = S_y = \sqrt{(xS_p)^2 + 3\left(\frac{F}{A_r}\right)^2}$$

که به کمک رابطه ی بالا A_r بدست می آید و سپس نوع پیچ مشخص می شود.

در پیچ کردن صفحه چند نکته را باید توجه کرد: ۱. پیچ ها را متقارن ببندیم ۲. فاصله ی پیچ ها از لبه ی صفحه یعنی محل سوراخ حداقل 1.5d باشد. ۳. پیچ ها را سطح سوم زیرا اگر پیچ ها را با سطح سوم در سوراخ قرار دهیم مشکل پیش می آید.

مثال: در ۱۲ ... مقابل را در نظر بگیرید به کمک داده های جدول: الف) نوع پیچ ب) ابعاد صفحه را بدست آورید.



Subject:
Year.   Month.   Date.   ۵۵

(اگر پیچ را ۵.۶ در نظر بگیرید و ضریب اطمینان ۳ است)

$r = \sqrt{150^2 + 50^2} = 158 \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{50}{150}\right) = 18.4^\circ \Rightarrow$

تعادل گشتاور حول مرکز سطح: $4 \times F \times r = (F_p \times F.S)\, l_p \Rightarrow F = \frac{(10 \times 10^3 \times 3) \times 1000}{4 \times 158} = 47 \times 10^3 N$

$\Rightarrow F' = \frac{F_p \times FS}{4} = \frac{10 \times 10^3 \times 3}{4} = 7.5 \times 10^3 N \Rightarrow F_{کلی} = \sqrt{F'^2 + F^2 + 2F'F\cos(90 - \alpha)} = 50 kN$

$\Rightarrow \tau = \frac{50 \times 10^3}{A_r}, \sigma_i = 0.75 S_p \Rightarrow 5.6$ گرید $: S_p = 270 \Rightarrow \sigma_i = 0.75 \times 270 = 202$

$\Rightarrow \sigma_{vm} = S_p = \sqrt{\sigma_i^2 + 3\tau^2} \Rightarrow A_r = \sqrt{\frac{3 \times (50 \times 10^3)^2}{270^2(1 - 0.75^2)}} = 485\ mm^2$

با نگاه در جدول می توان دریافت که پیچ M30 مناسب است اگر ضخامت صفحه به گونه ای باشد که پیچ M30 برای آن بزرگ باشد می توان تعداد پیچ ها را افزایش داد.

مقدار طول و عرض صفحه عبارت است از: $2 \times (1.5 \times 30) + 30 = 120 \sim 150$

$طول = 300 + 150 = 450$ $عرض = 100 + 150 = 250$

مثال: فرض کنید که بار F در مثال قبل بین صفر تا 1Ton نوسان می کند مطلوب است محاسبه مقدار σ_{Max} هنگامی رخ می دهد که بار 1Ton وارد می شود لذا: $\sigma_{min} = \sigma_i = 202.5 MPa, \sigma_{Max} = 270 MPa$

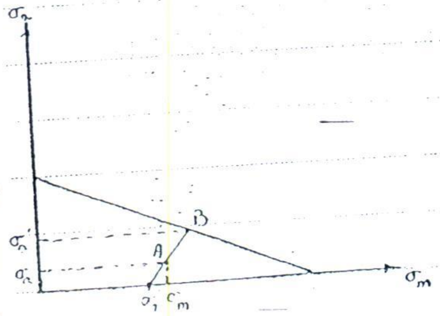
$\sigma_m = \frac{\sigma_{Max} + \sigma_{min}}{2} = 236\ MPa$ $\sigma_a = \frac{\sigma_{Max} - \sigma_{min}}{2} = 34\ MPa$

Subject :
Year . Month . Date . ( )

معیار گودمن را انتخاب می‌کنیم :

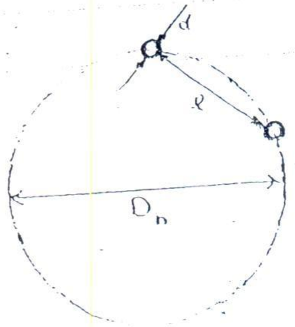
$$\frac{\sigma_m}{S_u}+\frac{\sigma_a}{S_e}=1$$

چون گرید پیچ ۵.۶ است لذا $S_u=500\,MPa$ می‌باشد و با نگاه در جدول ۸-۱۷ دیده می‌شود $S_e=140\,MPa$



$$\sigma_a'=\frac{S_e(S_u-\sigma_i)}{S_u+S_e}=65.08\,MPa$$

$$n_p=\frac{OB}{OA}=\frac{\sigma_a'}{\sigma_a}=\frac{65.08}{34}=1.91$$



تذکر: اگر آب‌بندی به کمک واشر نرم انجام می‌شود

توصیه می‌گردد که $3d < l < 6d$ و اگر واشر او رینگ باشد

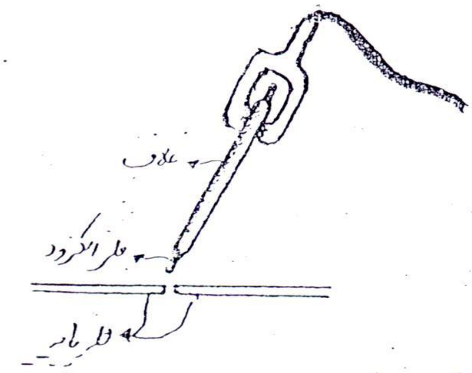
توصیه می‌شود که $5d < l < 10d$ انتخاب شود

Subject:
Year. ۸۷ Month. ۲ Date. ۲۲ ۵۶

جوشکاری (Weld.)

جوشکاری یک اتصال دائمی است که به وسیله ی ذوب موضعی و ایجاد ، دو قطعه به هم متصل می شوند
جوشکاری در دماهای مختلف با گستردگی های مختلف انجام می شود انواع جوشکاری عبارت
است از: ۱. جوشکاری با جریان برق ۲. جوشکاری با روش های مکانیکی ۳. جوشکاری
به وسیله ی اتصال مستقیم حرارت به کمک شعله.

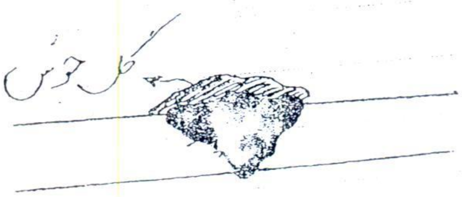
روش جوشکاری به کمک جریان برق انواع مختلفی دارد که یکی از آنها روش جوشکاری
با قوس الکتریکی است که از ایجاد دو قوس الکتریکی مقاومتی و انواع دیگر تقسیم می شود یکی از متداول ترین
روش های جوش، جوش با قوس الکتریکی و الکترود است که در این حالت یک الکترود سازگار
با فلز پایه را انتخاب می کنیم که در این منظور الکترود



فلز پایه با الکترود به صورت موضعی ذوب شوند
پس از ایجاد یک آثار را شکل دهد به هنگام
ذوب شدن فلز پایه در جوشکاری ممکن است مقداری از عناصر
آلیاژی فلز کروم از فلز پایه جدا شوند لذا جوش خاصیت فلز پایه را ندارد. در ناحیه ی جوش

Subject:
Year. Month. Date. ( )

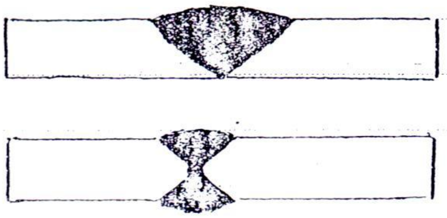
چقرمگی ماده کم می شود لذا ماده در این حالت ترد و شکننده تر از فلز پایه است. در فولادهای ساختمانی چون معمولا غیر از آهن و کربن عنصر دیگری وجود ندارد خواص جوش و فلز مبنا خیلی متفاوت نیست. روی الکترود یک غلاف وجود دارد که این غلاف ترکیبی از خاک اره، پودر آلومینیوم، پودر شیشه، چسب های صنعتی و کربن هستند. الکترود به یک سر سیم ولتاژ و قطعه به سر دیگر متصل می شود تا بتوان بین الکترود و قطعه قوس الکتریکی پدید آورد. ابتدا با نزدیک کردن الکترود به قطعه یک جرقه به وجود می آید و هوای بین الکترود و قطعه در اثر حرارت این جرقه یونیزه می شود و جریان برق از طرف هوا برقرار می شود. به دلیل این تخلیه ی الکتریکی گرمای زیادی ایجاد می شود که این اتفاق باعث ذوب شدن قطعه و الکترود می شود. الکترود به عنوان فلز پر کننده ناحیه ی خالی را پر می کند. در اثر ذوب شدن غلاف روی قطعه لایه ای تشکیل می شود که به آن گل جوش می گویند. چون مواد این لایه سبک هستند روی جوش قرار می گیرند.



با قرار گرفتن گل جوش روی جوش امکان اکسید شدن الکترود و قطعه ی مذاب در حین ایجاد از بین می رود. روش قوس الکتریکی و

Subject:
Year. Month. Date. ۵۷

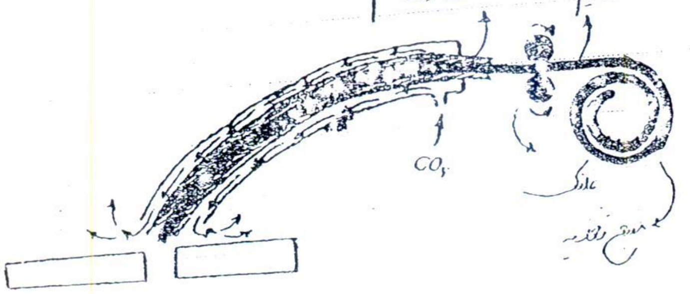
الکترود معمولاً برای جوشکاری هایی که بار شدید و فشار بالایی نیست استفاده می شود. محل جوش
مقاومت زیادی ندارد و معمولاً پس از جوشکاری آن را می کنند و از روش دیگری استفاده می کنند.
روش الکترود برای جوشکاری در یک دور در اثر مناسب نیست چون پس از تمام شدن
الکترود باید الکترود را تعویض کرد و با این کار در محل جوشکاری یک حفره به وجود می آید.



اگر سطح مقطع دو قطعه ای که می خواهیم به هم جوش دهیم
زیاد باشد معمولاً مطابق شکل های روبه رو دو سر قطعه
را درست می کنند و بعد شروع به جوشکاری
می کنند. اگر در جوشکاری از برق AC استفاده کنیم منبع برق ترانسفورماتور و اگر از برق DC استفاده
کنیم منبع برق دینام می باشد. از آنجایی که در جوشکاری نیاز به آمپر بالا می باشد چون اختلاف پتانسیل
بین قطعه و الکترود زیاد است نتوان شبکه برق معمولی کشش فراهم کردن آن را دارد. برای
جوش دادن ورق های نازک روش قوس الکتریکی و الکترود مناسب نیست در چنین شرایطی
باید قوس الکتریکی تابش کمتری داشته باشد [illegible] از الکترود TIG (Tungsten Iner Gas)
استفاده می شود. در این روش یک الکترود نوک تیز تنگستنی (با قطر ۱.۲ تا ۵ میلی متر) متصل به

Subject:
Year. Month. Date. ( )

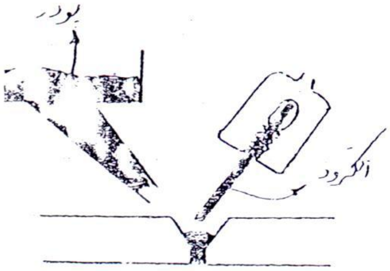
یک هسته مرکزی است که دور آن غلاف وجود
دارد. این مجموعه به انبر جوشکاری متصل می‌شود.
قوس الکتریکی بین تنگستن و قطعه ایجاد می‌شود
ولی الکترود خورده نمی‌شود. در کنار این مجموعه گاز آرگون جریان پیدا می‌کند و اجازه نمی‌دهد اکسیژن
این مکان را تحت تأثیر قرار دهد. این روش عموماً برای جوشکاری ورق‌های نازک استفاده
می‌شود ولی علاوه بر آن در فلزهای ویژه نیز از این روش استفاده می‌شود علاوه بر این گاهی
ریشه‌ی جوش را نیز به کمک این روش جوش می‌دهیم. اگر بخواهیم در هنگام جوشکاری به روش
TIG از فلز پرکننده استفاده کنیم می‌توانیم یک سیم از جنس فلز پایه را در محل جوش وارد کنیم ولی
اغلب اوقات روش TIG بدون فلز پرکننده انجام می‌شود. ترکیب دو روش قبل یک جوش
دیگری را به وجود می‌آورد که به آن روش MIG (Metal Iner Gas) می‌گویند. در این روش از یک
سیم نازک به عنوان پرکننده
استفاده می‌شود که خود در یک
سیم تغذیه کننده متصل است



Subject:
Year. Month. Date. ۵۸

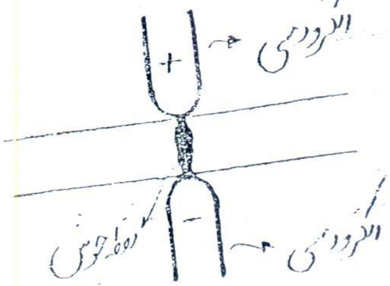
این سیم بعد از عبور از یک غلتک به ضخامت حدوداً 1mm می رسد. دور این سیم یک غلاف وجود دارد و دور این غلاف لوله ای موجود است که گاز دی اکسید کربن از درون آن به محل جوش هدایت می شود و مانع اکسید شدن جوش می شود. در این روش بجای تعویض کردن الکترود بعلت چون طول پر کننده دائماً به داخل تغذیه می شود. می توانیم با کمک غلتک هایی که روی این مجموعه قرار گرفته است سرعت ورود سیم و گاز را تنظیم نمود. این روش قابلیت اتوماتیک شدن را نیز دارد. اشکال این روش سنگین بودن تجهیزات آن است. گاهی جرم آن به 400kg نیز می رسد لذا از این روش در کارخانه ها استفاده می گردد. مسئله حائز اهمیت اگر سطح مقطع جوش زیاد باشد می توان ابتدا قطعه را تراشید و لایه لایه شروع به جوشکاری نمود. سه روش جوشکاری که مورد بحث قرار گرفت سرباره گیری می شود در نتیجه ممکن است بارها سرباره تشکیل شود به همین خاطر یک ترکیبی از این روش ها را ارائه می دهیم

در این روش طول پر کننده وجود دارد ولی به جای گاز خنثی شار گل جوش که پودر شده است مانع اکسید شدن می شود. این روش به جوش زیر پودری معروف است. در این روش ~~الکترود~~ به صورت سیم تغذیه فراهم می گردد. در عین حال پودر جوش نیز به محل تزریق می شود.



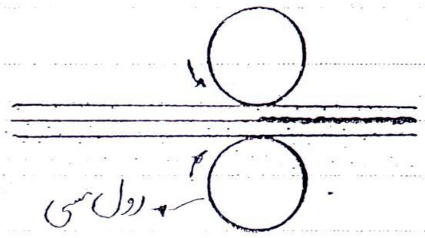
Subject : Year . Month : Date . ( )

و چون این پودر سنگین تر است روی جوش قرار می گیرد. این پودر علاوه بر محافظت از اکسید شدن
باعث آرام خنک شدن منطقه جوش می شود لذا موجب عدم تغییرات متالورژیکی می شود. پس
از خنک شدن کل جوش را می کنند و مواد اضافی را از آن جدا می کنند و پس از بازیابی مجدداً مورد
استفاده قرار می دهند. از این روش برای جوش سیلندر گاز که باید محکم باشند و ترد نباشند و هم چنین
تانکرهای گاز و مواد شیمیایی استفاده می شود. روش دوم جوشکاری به کمک جریان برق روش
جوش های مقاومتی (Spot weld) می باشد. در روش های قبل ورق ها کنار هم قرار می گرفتند
و با کمک یک قوس الکتریکی به هم متصل می شدند در حالی که در روش مقاومتی دو قطعه روی هم
قرار می گیرند و جوش در حد فاصل تماس این دو قطعه قرار می گیرد. در صنعت خودرو برای جوشکاری
ورق های نازک از این روش استفاده می شود. در نوع اول جوشکاری به روش مقاومتی که معروف
به نقطه جوش است دو ورق روی هم قرار می گیرند. الکترود جوش در این روش از جنس مس است که نوک
آن با شعاع خاصی گرد شده است. این الکترود در حالی که
به قطعه فشار می آورد قطعه را گاز می گیرد. فشار که از یک حد
عبور کرد جریان برق از آن ناحیه عبور می کند و باعث ذوب



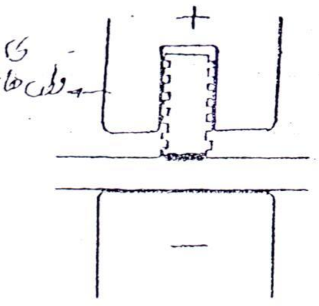
Subject:
Year. Month. Date. ۵۹

شدن آن ناحیه می شود البته این جریان برق برای مدت زمان مشخصی برقرار می شود و پس از آن جریان قطع می شود و الکترود برداشته می شود. به ناحیه جوش داده شده نقطه جوش می گویند. ضخامت این ناحیه حدود ۴ تا ۵ میلی متر است. این روش برای فلزات ورق نازک مناسب است. در روش



دوم به جای الکترود از غلتک استفاده می شود. که به روش رول جوش معروف است. در این روش با عبور جریان برق از رول های مسی ناحیه بین دو ورق جوش داده می شود. از این روش در جوشکاری قوطی حلبی استفاده می شود. در روش بعدی دو

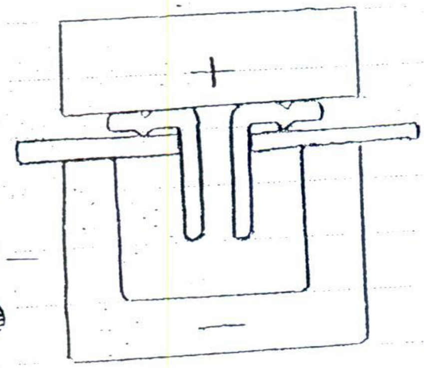
ورق بر روی هم گذاشته می شوند و به کمک گیره های مسی تحت فشار قرار می گیرند. مقطع قطعات معمولاً گرد و بسیار صاف است. هنگامی که جریان از گیره های مسی عبور کند بین دو سر ورق دو سر گسسته و دو قطعه



جوش پیدا می کند. به این نوع جوش، سر جوش می گویند. نوع دیگر جوش معروف به جوش استاد (stud weld) می باشد که برای جوش دادن پیچ مهره ای به یک قطعه از آن استفاده می شود. در

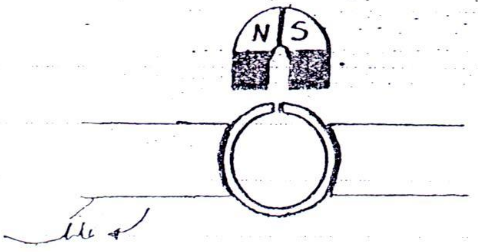
Subject:
Year. Month. Date. ( )

نوع دیگر جوشکاری این بار مهره را به یک صفحه جوش می دهند (nut weld) از این روش در صنایع خودروسازی و وسایل خانوادگی بسیار استفاده می شود.



اگر بخواهیم پیچ را در یک ورق نازک ببندیم به گونه ای که ضخامت ورق از یک گام پیچ کوچکتر است نیازمند یک گوشت هستیم که پیچ روی آن بنشیند. لذا یک ورق کلفت تر را به شکل یک شوره درمی آوریم و آن را علاوه بر چسبم روی ورق می اندازیم یک طرف پاره ورق و طرف دیگر به تقویت کننده متصل می شود. هنگامی که جریان عبور می کند چون سطح مقطع عبور جریان بالا است امکان ذوب شدن ورق زیاد است لذا در ورق علاوه بر شده برآمدگی ایجاد می کنند. هنگامی که جریان بین دو قطعه برقرار می شود جریان از این برآمدگی عبور می کند لذا ابتدا این قسمت ذوب می شود و جوش را به وجود می آورد. با صاف شدن این برآمدگی سطح بالا و پایین در تماس با یکدیگر قرار می گیرند و چون سطح افزایش می یابد مقاومت کاهش یافته و سایر نواحی کمتر ذوب می شوند. جوش این نواحی اساساً به منظور راست شدن است و در مقاومت جوش مد نظر قرار نخواهد گرفت. روش آخر جوشکاری به کمک جریان

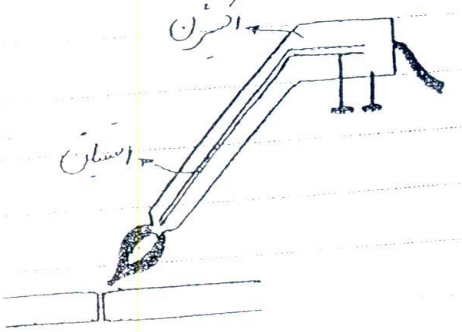
برق روش جوشکاری القایی است. در خیلی از موارد نظیر لوله سازی عملاً روش عبور جریان الکتریکی و جوش جهت دهی جهتی ندارد. این لوله ها را به روش القایی می سازند. این لوله ها به صورت ورق های باریک دراز هستند که با کمک غلتک مقطع آن به شکل دایره در آورده می شود و سپس آن را به کمک جوش القایی جوش می دهند. در هنگام جوشکاری دو غلتک که فرم لوله را دارند لوله را از دو طرف فشار می دهند تا درز بسته شود. بالای درز را در مقابل یک میدان مغناطیسی قوی متناوب با فرکانس حدود 400 Hz قرار می دهند که



خطوط قوای میدان از طریق لوله بسته می شود لذا در لوله یک جریان الکتریکی به وجود می آید که این جریان باعث جوش خوردن درز لوله می شود. باید توجه کرد که چگالی شار در ناحیه ای که قصد جوش دادن آن را داریم از سایر قسمت ها بیشتر باشد. هنگامی که فلز تحت این جریان ذوب شد فشار غلتک باعث جوش خوردن درز لوله می شود.

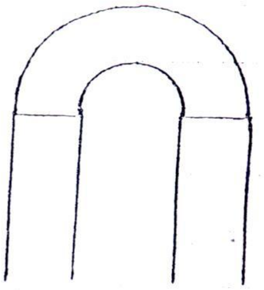
Subject :
Year . ۸۲ Month . ۲ Date . ۲۴ ( )

ما در این جلسه به بررسی جوشکاری به وسیله‌ی انتقال مستقیم حرارت می‌پردازیم. جوشکاری با انتقال مستقیم حرارت به سه روش تقسیم می‌شود: ۱- شعله‌ی گاز ۲- جوشکاری در کوره ۳- لحیم کاری. جوشکاری با انتقال مستقیم حرارت به وسیله‌ی شعله‌ی گاز به دو گونه انجام می‌پذیرد که عبارت است از: I) جوشکاری با فلز هم جنس با فلز پایه II) جوشکاری با برنج



در شکل روبه‌رو سوختن استیلن شعله را به وجود می‌آورد و باعث ذوب شدن قطعه می‌شود. حالا کار در شکل ایجاد شده پس از سوختن مانع اکسید شدن محل جوش می‌شود. در نوع اول جوشکاری شعله‌ی گاز به کمک فلز هم جنس با فلز پایه انجام می‌شود که کیفیت جوش کیفیت بالایی است یعنی از اوصاف اساساً لزومی ندارد که فلز ثانی از جنس فلز پایه را در فرآیند جوش شرکت دهیم و هر دو قطعه را توسط شعله ذوب می‌کند و پس از سرد شدن یک جوش تشکیل می‌گردد. لوله‌های اگزوز ماشین به این روش جوشکاری می‌شوند. در نوع دوم جوشکاری شعله گاز از فلز ثانی که نقطه‌ی ذوب پائین‌تر ~~فلز پایه~~ دارد استفاده می‌شود. این طریقه ولتاژی است. این روش معمولاً نیاز به گرم کردن خیلی زیاد ندارد. برای جوش دادن ورق کافیست از این روش

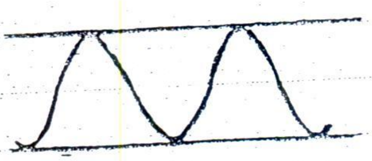
استفاده می شود. چون در این موارد ضخامت ورق ها کم است می توان از شعله در نوع اول استفاده
کرد. چون در هنگام ذوب اطراف ورق بادی اضافه و ورق جای خود را از دست می دهد. لذا از
میله ی پرکنی استفاده می کنیم و مجموعه را گرم حرارت می دهیم. با ذوب شدن برنج دو فلز پایه به هم متصل
می شوند. در این روش فلزهای پایه ذوب نمی شوند و فقط گرم می شوند. جوش به دست آمده در این
روش استحکام فلز پایه (مثلاً فولاد) را ندارد ولی جوش قابل قبولی است. به این روش جوش برنج
(flame Branging) می گویند. این روش را با شعله ی اتوماتیک نیز می توان انجام داد. مثلاً در رادیاتور



کولرهای گازی در انتهای دو لوله یک زانویی نصب می کنند که عملاً
است کارگر نتواند با دست دو لوله را جوش دهد و اساساً جوش دادن
مجموعه در داخل غیر عملی است در چنین شرایطی حلقه هایی از برنج
می سازند و این حلقه ها را دور زانویی ها می اندازند سپس مجموعه را به صورت اتوماتیک حرارت می دهند.
حلقه های برنجی ذوب شده و فلز پایه داغ می شود به دلیل کشش سطحی بین مایع و جامد دو فلز به هم می چسبند
و نیز به دلیل پدیده ی موئینگی مذاب خود را بالا می کشد. برنج در دمای ۳۰۰ الی ۴۰۰ درجه سانتیگراد ذوب
می شود. در روش دوم جوشکاری با انتقال مستقیم حرارت به جوشکاری در کوره (Fernce welding)

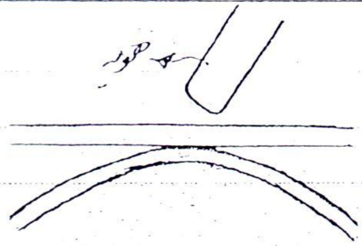
Subject:
Year. Month. Date. ( )

اشاره می کنیم. این روش در مواردی استفاده می شود که دسترسی به محل جوش به هیچ وجه ممکن نیست.
مثلاً فرض کنید صفحه شکل روبرو را بخواهیم بین دو ورق صاف یک



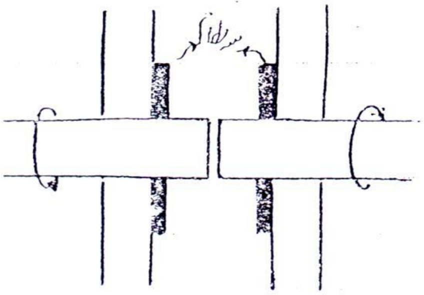
ورق منحنی باشد را جوش دهیم. در این حالت ورق را قبل از
شکل دادن با یک پوشش (clad) می پوشانند که نقطه ی ذوب این پوشش پائین تر از فلز پایه است.
حالا مجموعه را درون کوره می گذارند و دما را کم می کنند. پوشش ذوب می شود به دلیل علاقه ی
کشش سطحی مذاب خود را داخل درزها می کشد. پس مجموعه را آرام سرد می کنند. این مجموعه علاوه
بر جوش خوردن آب بندی نیز شده است. رادیاتورهای ماشین را با این روش می سازند. صفحات ورق های
رادیاتور ماشین کم می باشد و لوله های بیضی شکل در آن وجود دارد. چون مجموعه را [illegible] آلوده می کنند پوشش
در ۱۲۸۰ درجه سانتیگراد ذوب می شود. هر چه نقطه ی ذوب clad و فلز پایه نزدیک تر باشد به دلیل یکپارچه
بودن مجموعه جوش بهتری خواهیم داشت. اختلاف نقاط ذوب clad و فلز پایه را حتی به ۵°C می رسانند. البته
برای چسباندن پاره های قطعات الکترونیکی از روش سوزی استفاده می شود. روش سوم جوشکاری
با انتقال مستقیم حرارت روش لحیم کاری است. این روش بر پایه ی انتقال هدایتی حرارت بین دو
قطعه می باشد. در این روش نباید سطوح قطع آلوده باشند. لذا برای جوش دادن آهن گالوانیزه

Subject :
Year . Month . Date .



وجنس و کوچک این روش مناسب است. در قطعات
الکترونیکی و دیگر کارهای ظریف از این روش استفاده می‌شود.
به همین خاطر است که قطعات الکترونیکی پوششی از قلع روی
خود دارند. این پوشش باعث سرعت بخشیدن فرآیند لحیم کاری بیشتر می‌شود. در این روش می بایست
ابتدا قطعه را گرم کرد تا یک باند فیزیکی ایجاد شود و مجموعه یک پارچه سرد شود.

در ادامه به بررسی سومین روش جوشکاری که جوشکاری از روش های مکانیکی است می پردازیم. این
روش به سه نوع تقسیم می شود: ۱- اصطکاکی ۲- انفجاری ۳- حسب (ضخامت حسب در این روش

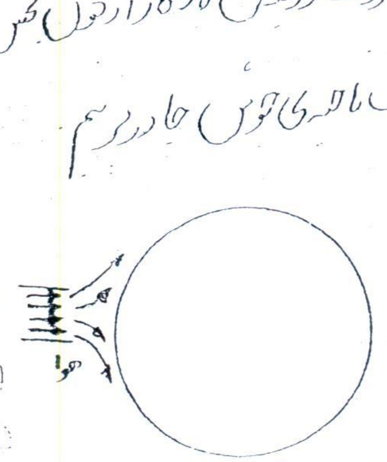


کم است) در روش جوشکاری اصطکاکی دو قطعه که قصد
جوش دادن آنها را دارند و سطح مقطع آنها باید گرد باشد
را به چند نظام می بندند هدف استفاده از چند نظام ثابت
کردن قطعه در فضا است. سیستم نقاطی که یک جسم را در فضا می تواند نگه دارد سه نقطه است. به همین خاطر
معمولا در بستن قطعه از سه نظام استفاده می شود. برای نگه داشتن قطعاتی که مرکز هندسی آنها بر
مرکز دورانشان منطبق نیست از چهار نظام استفاده می شود. به منظور جوش دادن دو قطعه پس از بستن

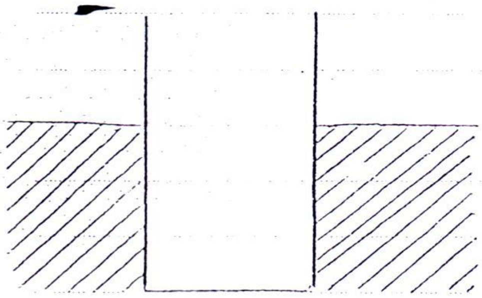
آنها به سه نظام شروع به دوران در خلاف جهت یکدیگر می نمائیم. چون سرعت دوران بالا است لذا دما خیلی بالا می رود و سطح دو قطعه شروع به ذوب شدن می کند ولی از آنجائی که حرارت زیاد در داخل دو قطعه نفوذ نمی کند این ذوب سطحی خواهد بود. پس این دو سه نظام را متوقف می کنیم و محکم به هم فشار می دهیم پس از آن با سرعت آرام آنها را در یک جهت دوران می دهیم. این روش چند مزیت دارد. اولاً اینکه قطعه به نسبت روش های قبل خیلی داغ نمی شود ثانیاً دو قطعه کاملاً یک پارچه و هم محور می شوند و جوش قوی حاصل می شود. دو قطعه در این روش می توانند جنس متفاوت داشته باشند ولی می بایست بتوانند آلیاژ قابل قبولی با یکدیگر بدهند یعنی ذوب پذیری دو قطعه یکسان باشند و آلیاژشان نیز نباید خیلی متفاوت باشند. در صورت تفاوت زیاد در نوع دو قطعه در هنگام سرد شدن مشکل پیش می آید.
سطح دو قطعه در این روش باید کاملاً صاف باشد.

تذکر: استفاده از روش TIG در فضای باز سخت است چون در صورت وزیدن باد گاز از محل پخش می شود و احتمال اکسید شدن جوش وجود دارد و لذا باید در اطراف محل جوش چادر بزنیم.

تذکر: برای جوش دادن یک قطعه در آب به دو روش می توان عمل کرد. در روش اول در محفظه ای که قصد جوش دادن آن



را دادیم یک لوله که هوا با فشار زیاد جریان دارد قرار می دهیم با خروج هوا آب کنار زده می شود و امکان



جوش دادن میسر می شود. در روش دوم ابتدا لوله را وارد آب می کنند و به کمک پمپ آب داخل لوله را خالی می کنند و پس از آن از داخل لوله را جوش می دهند.

مقاومت جوش

عمده ی جوش ها با روش قوس الکتریکی انجام می پذیرد. قطعات را در روش قوس الکتریکی به دو صورت جوش می دهند: ۱- جوش شیاری یا سر به سر (Butt weld) ۲- جوش ماهیچه ای (Fillet weld)

به فرآیند جوشکاری اصطلاحاً فلزکاری (Metal Fabrication) گفته می شود که منظور از فلزکاری چسباندن قطعات فلزی روی یکدیگر می باشد. معمولاً به طور اشتباه به آهنگری، فلزکاری گفته می شود در حالی که آهنگری به معنی گرم و نرم کردن فلز و سپس فرم دادن به آن می باشد.

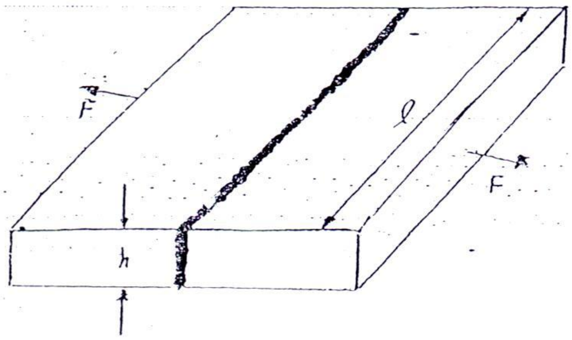
۱- جوش شیاری: هنگامی که دو قطعه به صورت سر به سر به یکدیگر جوش داده شوند ~~به صورت~~ شیاری جوش داده شده اند. بسته به اینکه ضخامت چقدر است می توان دو قطعه را از یک طرف یا از دو طرف به هم جوش داد. در مواردی

Subject:
Year. Month. Date. ( )

که سطح مقطع زیاد است مطابق شکل به سر قطعه یک لبه می دهند تا جوشکاری هم صورت بگیرد.
پس از تشکیل جوش در ناحیه‌ی جوش آثاری تشکیل می شود که بعضی از جنس فلز پایه و الکترود می باشند. اصولاً جوشکاری به گونه‌ای است که فلز الکترود به سرعت ذوب و به سرعت سرد می شود. در جوشکاری فرض بر این است که پس از جوشکاری آثار ناحیه جوشکاری ضعیف تر از فلز پایه باشد ولی واضح است که به دلیل سریع سرد شدن ناحیه‌ی جوش این قسمت تردتر از فلز پایه است مثلاً فولاد ساختمانی کرنشی بین ۱۷% تا ۲۲% را دارد در حالی که ناحیه جوش داده شده‌ی فولاد ساختمانی چنین کرنشی را نخواهد داشت ولی در صورتی که از ناحیه‌ی جوش انتظارات خاصی داشته باشیم قطعه را پیش گرمی می کنیم به این معنی که پس از جوشکاری مجموعه را تا حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ درجه سانتیگراد گرم می کنند و سپس به آرامی سرد می کنند. بعد از این فرآیند تردی از بین می رود و پس تنشها که در حین جوش به وجود می آید از بین می رود. در فرآیند پیش گرمی قطعات بزرگ دور قطعه را آجری چیده و سپس گرم می کنند. بعضی از فلزات که درون آنها آلیاژهایی نظیر کروم و نیکل و منیزیم وجود دارد در فرآیند سرد و گرم شدن علاوه بر ناحیه‌ی جوش برای قسمتی از فلز که داغ شده است تردی به وجود می آید. در چنین مواردی قبل از جوشکاری فلز پایه را پیش گرم می کنند.

Subject:
Year. Month. Date.

و علاوه بر این اگر این پیش گرم کردن صورت نگیرد در محل اتصال جوش ترد و یک ترک ایجاد می گردد. فقط فولادهای کم کربن هستند که جوش دادن برای آنها هیچ مشکلی به وجود نمی آورد.



فرض کنید که دو ورق روبه رو را توسط جوش شیاری به هم متصل کرده ام. اگر h ارتفاع جوش و l طول خط جوش باشد و دو ورق تحت نیروی F کشیده شوند در صورتی که ضریب اطمینان را F.S بنامیم خواهیم داشت:

$$\text{استحکام کار جوش} = \sigma = \frac{F \times F.S}{h \times l} < S_{all}$$

ورق ها

ورق در هر ضخامتی وجود دارد معمولاً ورق هایی که ضخامت آنها از ۳mm بیشتر است را با نورد گرم (hot rolled) می سازند. کرنش این نوع ورق ها بالاست. اگر ضخامت ورق کمتر از ۳mm باشد فرآیند ساخت آن با نورد سرد (cold rolled) خواهد بود. چون روی این دسته از مواد کار سرد انجام شده است مقاومت تسلیم آنها افزایش یافته است ولی کرنش های آنها کم شده است البته اگر بین مراحل نورد سرد قطعه را آنیل کنیم کرنش های آنها خیلی تغییر نخواهد کرد. رنگ سیاهی که روی ورق ها د

Subject:
Year. Month. Date. ( )

آهنی وجود دارد اکسید آهن (Fe_3O_4) است که مانع زنگ زدن آهن می شود. ابعاد ورق هایی که با نورد سرد ساخته می شوند بر حسب میلی متر عبارت است از: ۰٫۳، ۰٫۴، ۰٫۵، ۰٫۶، ۰٫۷، ۰٫۸، ۰٫۹، ۱، ۱٫۲۵، ۱٫۵، ۱٫۷۵، ۲، ۲٫۲۵، ۲٫۵، ۲٫۷۵، ۳. البته ورق های نازک با ضخامت کمتر از ۰٫۶ میلیمتر یافت می شوند. به ورق های نورد سرد شده ابری روغنی می زنند تا زنگ نزنند و به آنها ورق روغنی می گویند. البته همین ورق ها را روی اندود و یا گالوانیزه نیز می کنند. ورق های خیلی نازک (ضخامت در حد ۰٫۵mm) را به صورت رول سفارش می دهند مثلاً ۲ تن ورق با عرض ۱٫۲۰m و سپس آن را باز کرده و استفاده می کنند و ورق های ضخیم بعد از اینکه از رول باز شوند باید صاف (straitner) شوند و سپس از آنها استفاده شود. ابعاد ورق هایی که با نورد گرم ساخته می شوند عبارت است از: ۳٫۵، ۴، ۴٫۵، ۵، ۵٫۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۵، ۳۰، ۳۲، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۰۰. این ورق ها هم رول دارند و اغلب به صورت برگ هستند. ورق های با ضخامت ۲۰ و کمتر از آن در قواره های ۱٫۲۵x۲٫۵ و ۱x۱ هستند و ورق های ضخیم تر از ۲۰ میلیمتر در قواره های اصلی ۱٫۵x۶ هستند. ورق های ضخیم را با استفاده از پرس با فشار آب (با فشار ۳۰۰۰bar) پرس می کنند. ورق های نورد گرم شده دارای خواص یکسانی در طول و عرض می باشند و کار سرد با حدود ۱۰٪ روی S_y و S_u

در حالت اول احتمال شکست جوش از این قسمت بیشتر است. ابتدا به محاسبه‌ی شکست جوش از ناحیه‌ی متصل به ورق می‌پردازیم. در ابتدا باید گشتاور پیچشی قطبی خطوط جوش را بدست آورد لذا J_u را برای خط جوش ساده از جدول پیدا می‌کنیم ولی چون مرکز جوش و مرکز دوران یکسان نیستند در نهایت $J = J_u + Ad^2$ می‌باشد که d همان طور که در شکل نشان داده شده است فاصله‌ی مرکز ثقل جوش و مرکز دوران است. قطر خارجی گوشواره را ۲۲۰ mm فرض می‌کنیم. در این قسمت تعداد پیچ‌ها را مجهول فرض می‌کنیم. ضخامت جوش را حداکثر حد از یعنی ۷ mm در نظر می‌گیریم و از رابطه‌ی $\tau + n\tau' < S_{all}$ به محاسبه‌ی n می‌پردازیم. در این رابطه τ تنش برشی قابل تحمل توسط پیچ است. مقدار بدست آوردن n، $\frac{n}{2}$ تعداد پیچ‌های مورد نیاز می‌باشد. دلیل این تقسیم بر ۲ کردن این است که هر پیچ دو خط جوش دارد. در حالت دوم فرض می‌کنیم که جوش از حلقه شکسته لذا پیچ و ورق را یک پارچه در نظر می‌گیریم. چون پیچ یک تنش برشی روی لوله ایجاد می‌کند که به مقابله با گشتاور پیچشی آن می‌پردازد. با مجهول گذاشتن گشتاور پیچشی قابل تحمل توسط پیچ به محاسبه‌ی تعداد پیچ‌ها می‌پردازیم. باید توجه کرد که فاصله انتهای پیچ از لبه‌ی گوشواره خیلی کم نباشد.

واضح است که در این بارگذاری جوش تک پیچش است مقدار گشتاور پیچشی که باید توسط جوش تحمل شود برابر است با:

$$T = 80\times10^{3}\times200 = 16\times10^{6}\ N.mm$$

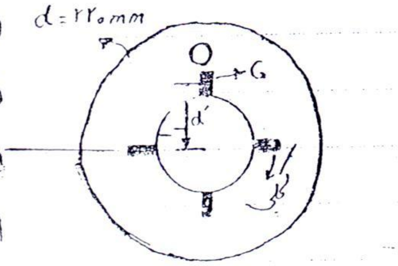
باید توجه کرد که تنش برشی ناشی از نیروی F هیچ تاثیری روی جوش ندارد در واقع این نیرو از طریق گوشواره مستقیماً به لوله منتقل می شود. با نگاه کردن به جدول برای مقطع جوش دایره تک پیچش $J_u = 2\pi r^3$ می باشد اگر F.S را ۳ در نظر بگیریم ارتفاع جوش برابر خواهد بود با:

$$\tau = S_{all} = \frac{T\times r\times F.S}{J_u\times 0.707h} \Rightarrow h = \frac{T\times r\times F.S}{2\pi r^{3}\times 0.707 S_{all}} = \frac{16\times10^{6}\times40\times3}{2\times(2\pi\times40^{3})\times0.707\times84} = 40.2\ mm$$

تقسیم بر ۲ که در مخرج رابطه ای که h از آن بدست آمد به این خاطر بود که جوش از دو طرف انجام شده بود

بیشینه ارتفاع جوش ممکن $10\times0.2=2mm$ است که خیلی کمتر از ارتفاع جوش مورد نیاز است ابتدا باید چک شود که آیا این مجموعه شامل گوشواره و لوله می تواند این نیرو را تحمل کند. اگر چنین شد به تقویت جوش می پردازیم

برای حل این مشکل می توان یا از چند گوشواره استفاده کرد یا باید از لچکی استفاده نمود. برای محاسبه ی تقویت لچکی باید مقاومت را در دو ناحیه بررسی کرد. در حالت اول ممکن است



جوش از بیخ لوله بشکند و در حالت دوم جوش لچکی از روی ورق بشکند. می توان حالت دو را به دلیل کمتر بودن شعاع دوران حذف کرد

Subject:

Year. Month. Date. ۷۸

اطمینان بین ۴ تا ۵ می باشد. برای تعیین ضریب اطمینان به جداول و استانداردها رجوع می کنیم

$$F.S = 3 \Rightarrow S_{all} = 0.4 S_y = 0.4 \times 210 = 84\ MPa \Rightarrow h = \frac{F \times F.S}{L \times 0.707 \times \tau}$$

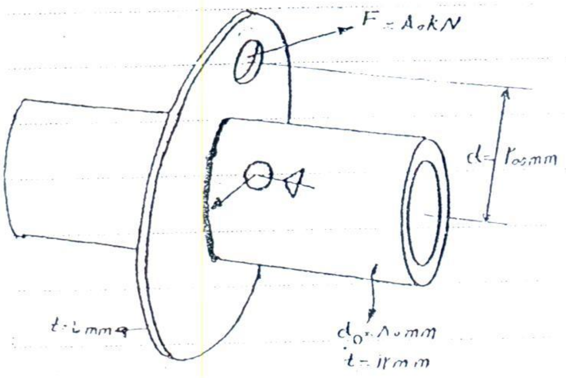
$$\Rightarrow h = \frac{100 \times 10^3 \times 3}{(2\pi 150) \times 0.707 \times 84} = 12.88\ mm$$

با توجه به جدول $h_{min} = 10\ mm$ و نیز داریم $h_{Max} = 0.7 \times 30 = 21\ mm$ لذا ارتفاع جوش بین این دو عدد است

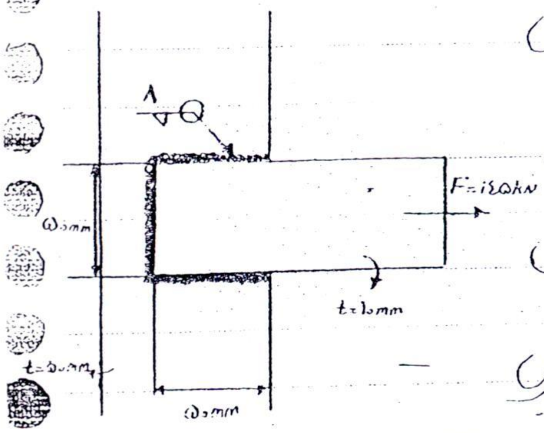
با گرد کردن ارتفاع جوش به سمت بالا خواهیم داشت:

$h = 18\ mm$

مثال: در شکل زیر یک لوله وجود دارد که هدف داریم که روی آن یک گوشواره نصب کنیم. گوشواره دری است در اشکال مختلف که مطابق شکل در انتهای خود یک سوراخ دارد. دور اتصال لوله و گوشواره را از دو طرف جوش داده‌ایم و نیز گوشواره و در صفحه‌ی آن (A) نیروی $F = 80\ kN$ وارد می کنیم (به طوری که در لوله پیچش ایجاد شود) قطر خارجی لوله برابر $80\ mm$ و ضخامت لوله $t = 12\ mm$ می باشد. ضخامت گوشواره نیز $t = 10\ mm$ فرض شده است. بازوی گشتاور نیز همان طور که در شکل هم نشان داده شده است $200\ mm$ می باشد. مطلوب است محاسبه‌ی ارتفاع جوش مورد نیاز برای سالم ماندن سیستم.

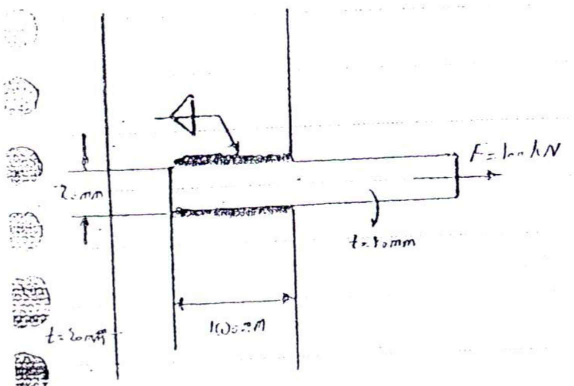


DAPCO



مثال: مطابق شکل ورقی با ضخامت t=20mm روی ورق دیگری با ضخامت t=50mm قرار گرفته است. دور تا دور این مجموعه را با ارتفاع جوش 8mm جوش داده‌ایم و در انتهای آن نیروی F=145kN وارد می‌شود. مطلوب است محاسبه‌ی تنش تنش برشی در جوش.

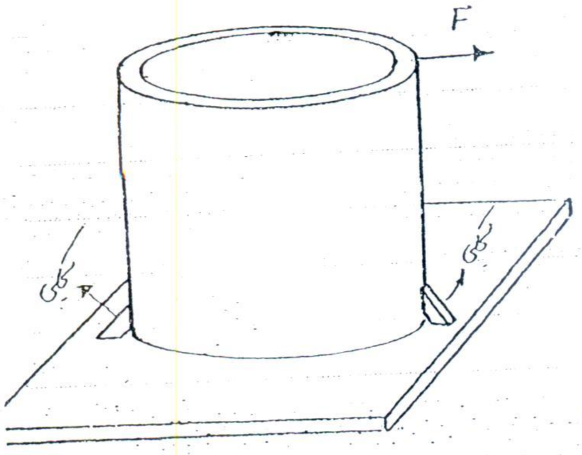
$$\tau = \frac{F}{L \times 0.707h} = \frac{145\times 10^3}{(4\times 50)\times(0.707\times 8)} = 128.1\ MPa$$



مثال: برای ساختار روبه‌رو در صورتی که الکترود جنس ST37 باشد و مقاومت حداقل قابل دریافت از جوش معادل استحکام ورق باشد و فرض شود که جوش دو طرفه است: حداقل ارتفاع مناسب جوش را تعیین کنید.

می‌دانیم که $\tau = \frac{F\times F.S}{L\times 0.707h}$ می‌باشد. در مورد F.S با توجه به وجود یا عدم وجود حوادث خاص و یا بارگذاری اضافه (over load) ضریب اطمینان تعیین می‌شود. مثلاً برای مواردی که حوادث خاص وجود دارد ضریب

Subject :
Year. Month. Date. ۷۰



دارم به لبه‌ی ورق دیگری آن را جوش دهیم

مقدار محاسبات با ممکن است که ارتفاع جوش از

۷۰٪ ضخامت ورق‌ها بیشتر شود یا ممکن است

که ورق تحت نیروی F به گونه‌ای تغییر شکل

دهد که ورق پایه به شکل S درآید. در هر یک

از این موارد از تقویت کننده استفاده می‌کنیم. در این شرایط با ناحیه‌ای که تحت خمش زیاد است و ممکن است اعضا در مقابل خمش مقاوم نباشند را با ورقی به شکل مثلث قائم‌الزاویه‌ی متساوی‌الساقین به نام لچکی تقویت می‌کنیم. با این کار طول خط جوش افزایش می‌یابد. ضخامت لچکی را باید متناسب با ضخامت ورق انتخاب نمود. بسته به مقدار مورد نیاز از لچکی استفاده می‌کنیم. یک کار جوشی که می‌توان صورت داد این است که لبه‌ی قائم لچکی را مشابه شکل ببریم که لچکی به خوبی در گوشه‌ی کار بنشیند. اگر این کار را انجام ندهیم چون دور ورق قبلاً جوش داده شده است لبه‌ی قائم لچکی به جوش گیر می‌کند که برای رفع این مشکل می‌بایست یا در ابتدا ناحیه‌ای را که در راستای لچکی داخل آن می‌شود را جوش ندهیم یا اینکه اتصال و فاصله‌ی بین لبه‌ی قائم لچکی و ورق را کاملاً جوش دهیم که کار جالبی نیست.

Subject:
Year: ۸۷ Month: ۲ Date: ۳۱

ضخامت ورق هایی که قصد جوش دادن آنها را هم داریم و نیز ضخامت ورق با ضخامت جوش باید خیلی تفاوت داشته باشند. مثلاً اگر ضخامت دو ورق با متناسب با هم باشد به گونه‌ای که نسبت ضخامت ها حدود ۲ یا ۵ باشد ورقی که ضخیم تر است به خاطر انتقال حرارتی بالا گرمای جوش را به خود می گیرد و جوش سریع تر سرد می شود لذا جوش ترد تر می شود. در مواقعی که مجبور باشیم دو ورق با ضخامت های متفاوت را به هم جوش دهیم لازم است که ورق ضخیم تر را پیش گرم کنیم. برای برقراری تناسب بین ضخامت ورق و ضخامت جوش برای هر ضخامت ورق یک ضخامت حداقلی جوش در نظر گرفته شده است که در جدول روبرو آمده است در ابعاد مهندسی ارتفاع جوش متناسب با ورق جوش داده شده اگر ارتفاعی کمتر از مقادیر جدول به دست آوریم باید این مقادیر را در نظر بگیریم. به صورت قراردادی ارتفاع جوش را از ۰.۷ ضخامت ورق نازک تر بیشتر می کنیم. بعضی جاها در هنگام جوشکاری نیاز به تقویت کننده هایی برای تقویت اتصال جوش هستیم. مثلاً شکل صفحه‌ی بعد را در نظر بگیرید که یک ورق را به شکل دایره در آورده‌ایم و قصد

ضخامت ورق	حداقل ارتفاع جوش
تا ۶mm	۳mm
۶mm تا ۱۲mm	۵mm
۱۲mm تا ۱۸mm	۶mm
۱۸mm تا ۳۲mm	۸mm
۳۲mm تا ۵۵mm	۱۰mm
۵۵mm تا ۱۵۰mm	۱۲mm
بالاتر از ۱۵۰mm	۱۶mm

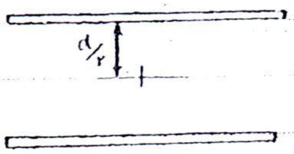
جوش جنس آن‌ها خیلی پست‌تر از فلز پایه باشد ولی اگر خیلی هم قوی‌تر باشد بی‌فایده خواهد بود چون در این صورت از لبه‌ی پس جوش در قطعه خواهد شکست.

حالا به بررسی استحکام مجاز جوش می‌پردازیم. منظور از S_y در جدول زیر، روی استحکام الکترود نیست بلکه استحکامی است که پس از سرد شدن می‌تواند به ما تحویل دهد. جوش لبه‌ای مانند جوش شیاری تحت کشش است. جوش ریل‌های راه‌آهن را فرض کنید هنگامی که قطار از روی آن عبور می‌کند در جوش تنش یا نوسانی یا متناوبی به وجود می‌آید در حالی که جوش شیاری ناشی از فشار اثری از آن‌ها ندارد.

نوع جوش	نوع بارگذاری	استحکام مجاز
جوش شیاری	کشش	$0.6S_y$
	تنش یا نوسانی	$0.9S_y$
	خمش	$0.6S_y$ تا $0.66S_y$
	فشار	$0.6S_y$
	برش	$0.3S_u$ تا $0.4S_y$
جوش ماهیچه‌ای	برش	$0.3S_u$ تا $0.4S_y$

توصیه می‌شود در هنگام جوشکاری فلز پایه از $0.3S_u$ جوش ضعیف‌تر باشد تا همه‌ی ترک‌ها از فلز پایه ناشی شود و تنش زیادی در جوش به وجود نیاید. لذا اگر جنس مواد جوش و فلز پایه یکنواخت‌تر باشد جوش بهتر عمل خواهد کرد. برای یکنواخت شدن خواص جوش و فلز پس از جوشکاری قطعه را در کوره می‌گذارند و پس گرم می‌کنند و تنش‌های ناشی از سریع سرد شدن فلز و تشکیل مارتنزیت را از بین می‌برد.

از آنجایی که هم جوش بالا و هم جوش پایین تنش برشی ناشی از نیروی F را تحمل می کنند لذا در مخرج τ_2 تقسیم بر دو داده می شود. با توجه به اینکه $\tau_1 \gg \tau_2$ است پس از مقدار τ_2 در محاسبات صرف نظر می کنیم



$$\tau_1 = \frac{M/d}{b \times 2 \times 0.707h} \times \frac{d/2}{d/2} = \frac{M \times \frac{d}{2}}{0.707hb\,\frac{d^2}{2}}$$

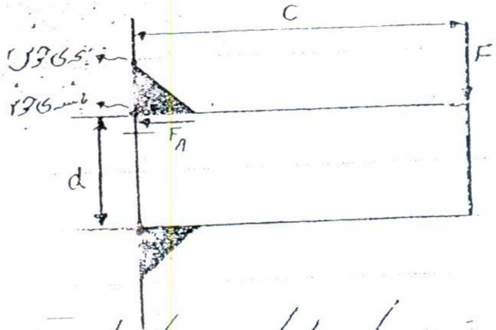
با کمی دقت در رابطه ی بالا مشاهده می شود که $0.707hb$ در واقع مساحت خط جوش و $(\frac{d}{2})^2$ شعاع ژیراسیون خط جوش حول مرکز جوش می باشد پس در واقع مخرج ممان اینرسی خط جوش می باشد.

$$\Rightarrow \tau_1 = \frac{M\,d/2}{I}$$

مشابه حالت قبل $I = I_u \times 0.707h$ در نظر می گیریم که I_u ممان اینرسی در عرض مقطع واحد می باشد و مقدار آن در جدول برای اشکال مختلف خط جوش آمده است. اغلب اوقات در جوشکاری نسبت جوش کامل اجرا می شود و از کل مقطع می توان استفاده کرد. از طرف دیگر در جوشکاری هنگامی که تیر تحت خمش است جوش یک طرفه فایده ای ندارد زیرا که در آن طرف جوش داده نشده چرخه وجود دارد و ممکن است ضربه وارد و به دلیل تمرکز تنش خواهد شکست. بنابراین می گیریم در همه ی انواع بارگذاری جوش، مقطع را جوش دو طرفه بدهیم. جنس الکترود باید به گونه ای باشد که پس از جوشکاری در ناحیه ی

تنش ضرب کرد.

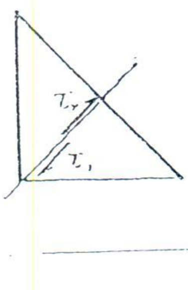
تنش ناشی از خمش در جوش



برای مسأله شکل را در نظر بگیرید که روی دیوار جوش داده شده است و به انتهای تیر نیروی F وارد می شود. هم مانند تنش ناشی از خمش در پیچ ها فرض می کنیم جوش پائین تکیه گاه است و جوش بالا تنش ناشی از خمش را تحمل می کند. اگر خیلی دقیق بگیریم تنش ناشی از خمش در جوش بالا عیناً شبیه بارگذاری روی است که در این جلسه بیان شد. پاشنه جوش در این بارگذاری تحت فشار و بخشی جوش تحت کشش است. اگر نیرویی که پای جوش بالا وارد می کند و ناشی از خمش تیر می شود را F_A بنامیم با تعادل استاتیکی داریم: $F_A \times d = F \times C$

مسأله بارگذاری قبل به بیان تنش برشی در مقطع می پردازیم. اگر تنش برشی ناشی از خمش را در گلوگاه جوش τ_1 و تنش برشی ناشی از نیروی F را در همین مقطع با τ_2 نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$\tau_1 = \frac{M/d}{b \times 0.707h}$$

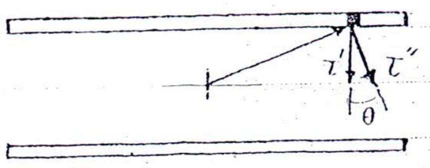


$$\tau_2 = \frac{F}{2b \times 0.707h}$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تنش برشی ثانی از خمش در اثر پیچش بوجود می‌آید که راستای این تنش بر راستای r عمود است. تنش

برشی ثانی از نیروی F در اصل صفحه است و دیگر



روابط قبل محاسبه می‌شود داریم: $\tau' = \frac{F}{l \times 0.707h}$

می‌دانیم هر چه نقطه به مرکز برش نزدیک‌تر شود تنش برشی ثانی از مقاومت در برابر پیچش در آن نقطه از

جوش کمتر می‌شود. با توجه به این گزاره خواهیم داشت که: $\frac{\tau''}{r} =$ ثابت

ممان پیچشی روی جوش $= T = F \times C = \int \tau'' dA \times r = \frac{\tau''}{r} \times \underbrace{\int r^2 dA}_{J} \Rightarrow \tau'' = \frac{Tr}{J}$

که در رابطه بالا J ممان قطبی مربوط به سطح مقطع جوش است که در شکل قبل در خط راست بود. از

این رو داریم $J = J_u \times 0.707h$ است که J_u ممان قطبی در حالتی است که عرض مقطع واحد باشد و

مقدار آن برای بعضی از اشکال خط جوش در جدول آمده است. پس: $\tau'' = \frac{Tr}{J_u \times 0.707h}$

بحرانی‌ترین نقطه عبارت است از نقطه‌ای که برآیند برداری τ' و τ'' بیشترین مقدار شود یا به عبارتی θ کمترین مقدار شود:

$$\tau_{Max} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2 + 2\tau'\tau''\cos\theta_{min}}$$

$$\tau_{Max} \times FS = S_{all}$$

τ' و τ'' هر دو وابسته به یک نیروی F رابطه دارند پس می‌توان با استفاده از رابطه بالا ضریب اطمینان را در

Subject:
Year. Month. Date. ۲۷/۸

$$\tau_{Max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{F}{l h}\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 1} = \frac{\sqrt{5}}{2} \times \frac{F}{l\, h} \Rightarrow \tau_{Max} = 1.12 \frac{F}{l\, h}$$

به دلایلی نظیر اینکه جوش هیچ وقت کل قطعه را کاملاً در بر نمی‌گیرد، آزمایش‌ها نشان می‌دهند که τ_{Max} همواره

بیشتر از این مقدار است و داریم:

$$\tau_{Max} = 1.414 \frac{F}{l\, h} = \frac{F}{l \times 0.707 h}$$

لذا برای جوش ماهیچه‌ای چه در برش و چه در کشش می‌توان گفت ماکزیمم تنش ایجاد شده روی گلوگاه برابر

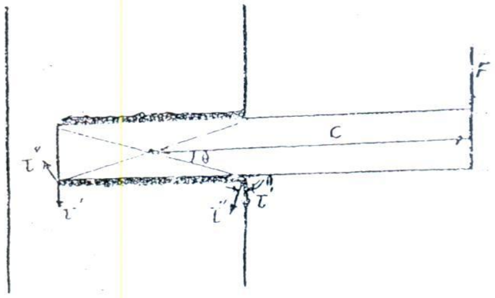
$\frac{F}{l \times 0.707 h}$ است. لذا برای جوش ماهیچه‌ای داریم:

$$\tau_{Max} = \frac{F \times F.S}{l \times 0.707 h} < S_{all}$$

که l طول کل جوش و $0.707h$ مقطع تنش بر واحد طول است. تاکنون به بار صفحه‌ای اشاره کردیم

ولی در بعضی از بارگذاری‌ها بار خارج از صفحه است که در اینجا دو مورد آن اشاره می‌کنیم.

برش ناشی از خمش در جوش



نیروی F مانند شکل را در نظر بگیرید که روی دیوار

جوش داده شده است و در اینجا نیروی

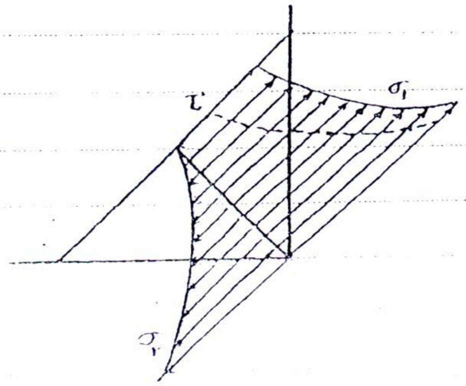
وارد می‌شود. نیروی اینک تنش برشی (τ')

ثابت روی جوش ایجاد می‌کند. علاوه بر این ممان خمشی جوش ناشی از نیروی F نیز یک

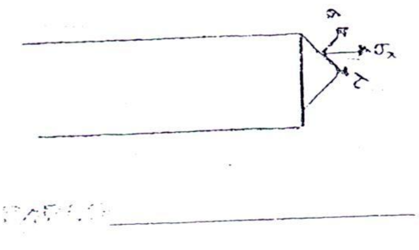
تنش برشی دیگر (τ'') در نوار جوش ایجاد می‌شود. لذا در هر نقطه‌ای از این طول دو برش یک

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تمایل به فرورفتن در قطعه است که در آن تنش فشاری ایجاد می شود. به طریق مشابه در مقابل جوش نیروی
جوش می خواهد از روی قطعه جدا شود که به دلیل تمایل در جدا شدن یک تنش کششی در ریشه ی
جوش در قسمت پای جوش ایجاد می شود. حالا به کمک تحلیل المانی به بررسی تنش های اصلی وارد



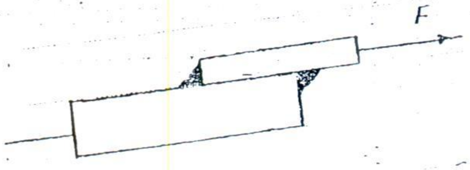
در مقطع مسیر می پردازیم و مشاهده می کنیم تنش های
σ_1 و σ_2 که تنش های اصلی می باشند و جهت آنها
بر یکدیگر عمود است به صورت رو در رو در مقطع مسیر
وارد می شود. در جهت خاصی روی این مقطع
تنش برشی ماکزیمم ($\tau = \frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}$) رخ خواهد داد که شکل آن در شکل نشان داده شده است. مشاهده می شود
که τ_{Max} مانند تنش کششی نیروی آن اثر است در واقع اگر مقدار تنش کششی را در دست آوریم نیرو با
تنش برشی را در خواهیم داشت و بعد از آن با مقدار در دستگاه می توانیم به بررسی مقاومت جوش بپردازیم
بین دو راه هم که تنش کششی ماکزیمم را در مقطع مسیر محاسبه کنیم. لذا فرض بر این است که اگر جوش
بخواهد بریده شود در مقطع مسیر بریده می شود لذا:



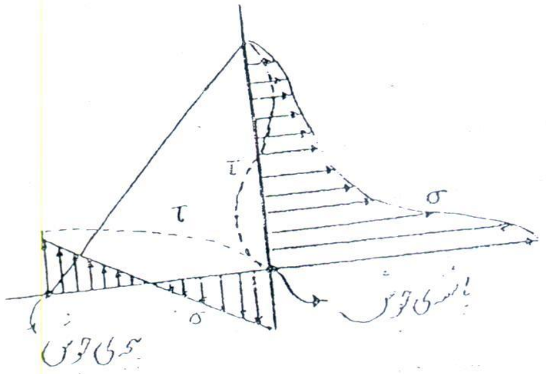
$$\sigma_x = \frac{F}{0.707\, h\, l_1} \Rightarrow \sigma = \tau = \frac{\sqrt{2}}{2}\sigma_x = \frac{F}{l_1 h}$$

Subject: Year. Month. Date. ۲۶

در حالت دوم فرض می کنیم دو قطعه مطابق شکل از دو کنار به هم جوش داده شده اند در اینجا نیز از جنس
صرف نظر می کنیم. ظاهراً در این حالت به نظر می رسد که
جوش تحت کشش است ولی اگر دقیق تر به مسأله

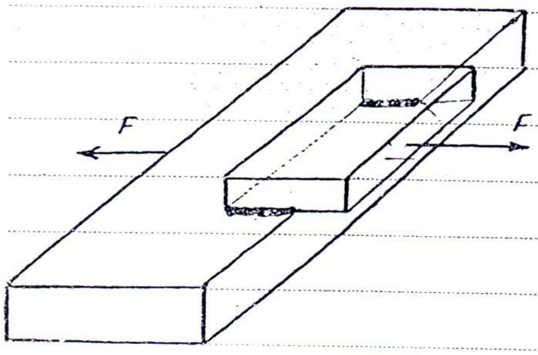


نگاه کنیم اگر جوش پایینی را جزئی از قطعه ی پایینی بدانیم کف جوش تحت برش است و اگر همین جوش
را عضو قطعه ی بالایی فرض کنیم ساق جوش تحت کشش می باشد در مقطع بین ساق و پای جوش
ترکیبی از این دو نوع تنش وارد خواهد شد. حالا به بررسی دقیق تنش های وارد بر ساق و پای جوش
می پردازیم. برای تنش کششی ساق جوش چون
...ش مثلث جوش مثلث برابر بالای مثلث
...ت تنش کششی بیشتری را تحمل می کند. در مورد
...ن برشی روی ساق جوش در واقع این

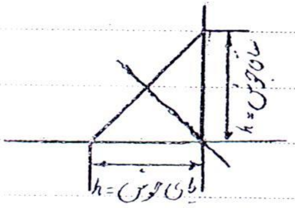


...ی به دلیل خمشی است که در طول ساق اتفاق می افتد که به دلیل تمایل برش بین لایه های جوش به وجود
می آید. وقتی جوش تحت نیروی F قرار می گیرد در پای جوش علاوه بر برشی که گفته شد یک تنش کششی
به وجود می آید در واقع یک این بار مثلث جوش تمایل به چرخیدن است اما چون پاشنه ی جوش

۲- جوش ماهیچه‌ای: در این قسمت به بررسی دو حالت جوش ماهیچه‌ای می‌پردازیم:



در حالت اول دو قطعه از بغل به یکدیگر جوش داده شده‌اند. اگر مطابق شکل نیروی F به دو قطعه وارد شود جوش تحت برش قرار می‌گیرد. به دلیل کم بودن بازوی گشتاور حاصل از نیروی F از آن صرف نظر می‌کنیم.



حالا اگر جوش را از کنار نگاه کنیم و فرض کنیم که مقدار ساق و پای جوش یکسان و برابر h (که در این به بعد آن را ارتفاع جوش می‌گوییم) باشد بیشترین تنش برشی در مقطع با مساحت کمتر روی خواهد که در شکل این مقطع نشان داده شده است. مقدار تنش در این مقطع عبارت است از:

$$\tau = \frac{F}{l \times \frac{\sqrt{2}}{2} h} = \frac{F}{l \times 0.707 h} \Rightarrow \tau = \frac{F \times F.S.}{l \times 0.707 h} < S_{all}$$

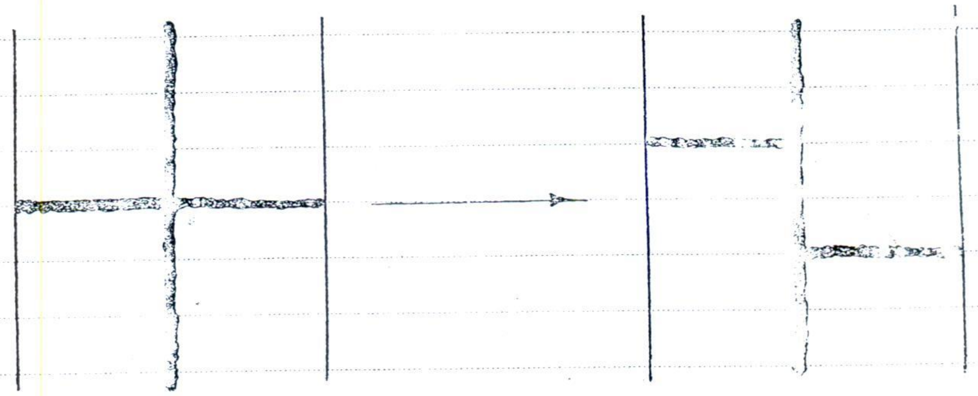
که در عبارت بالا l کل طول خط جوش (پشت و جلو) می‌باشد. به مقدار 0.707h اصطلاحاً گلوگاه جوش (troth of weld) می‌گویند.

Subject:

Year. Month. Date. ۶۵

در روی ε_p آنها خیلی تأثیر گذاشته است. در واقع ورق نورد شده در عرض راحت تر از طول کشش می آید و دلیل این امر این است که قبلاً در فرآیند تولید در راستای طولی کشش آمده است ولی در مورد فلزهای نورد گرم شده چون آنیل می شوند در راستای طولی و عرضی تفاوت زیادی ندارند. با توجه به مطالب بالا حالت خم شدن ورق های نورد سرد در طول و عرض با هم متفاوت است.

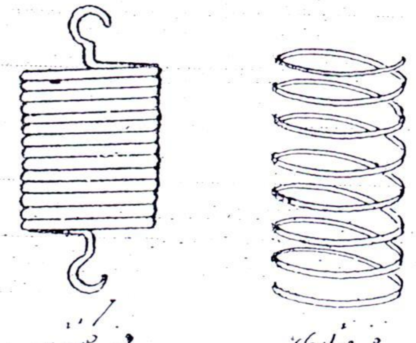
اگر در جوش حرارتی سعی می کنیم که حداکثر سه راه جوش داشته باشیم و از چهار راه جوش پرهیز کنیم:



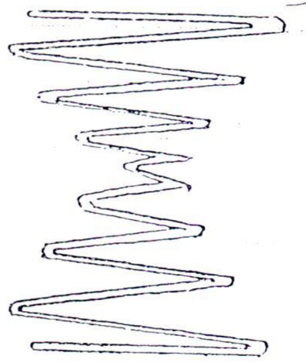
Subject :
Year. ۸۷ Month. ۳ Date. ۵ ۲۳

فنر (Spring)

فنر وسیله‌ای برای ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد. از فنرها برای ذخیره‌سازی انرژی و همچنین گرفتن انرژی‌های



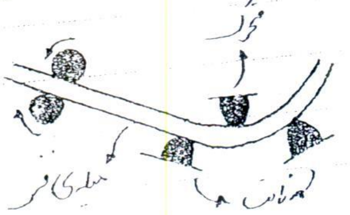
ناخواسته استفاده می‌شود. فنرهای معمولی به صورت‌های
کششی و فشاری و پیچشی می‌باشند. فنرهای کششی دارای
حلقه‌های به هم چسبیده هستند و در دو سرشان دو قلاب
دارند که این کار اجازه‌ی کشش فنر را می‌دهد. فنر
فشاری فنری است که فقط می‌توان به آن‌ها فشار وارد کرد. یعنی فنرهایی است که می‌توان
از دو طرف به آن‌ها نیرو وارد کرد و آن‌ها را جمع نمود. فنرها بسته به کاربردشان در اشکال گوناگون می‌سازند
مثلاً فنر داخل موتورسیکلت دارای فواصل متفاوت بین کویل‌هایش می‌باشد که این ویژگی
به فنر امکان می‌دهد که در هنگام وارد شدن نیروی بیشتر سختی بیشتری از خود نشان دهد. یا مثلاً



فنر داخل مبل به صورت رو به رو است. یا هنگامی که روی
آن می‌نشینیم طول فشرده‌ی آن تقریباً برابر صفر شود و یک
قطعه‌ی آهنی تخت مانند در داخل مبل به وجود می‌آید. در

Subject:
Year. Month. Date. ( )

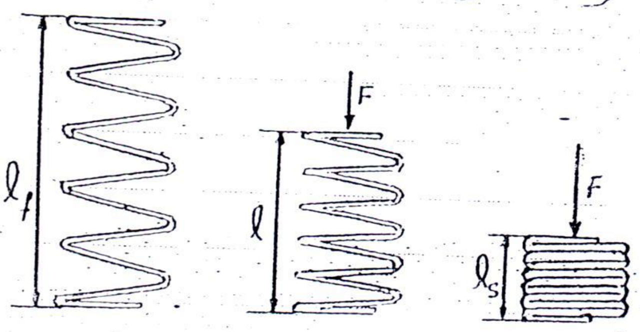
واقع هر چیزی که بتواند انرژی را ذخیره کند جزو فنرها حساب می آید. برای مثال کش ها و لاستیک ها هم جزو
فنرها محسوب می شوند. فنرها به طور عمده در قطرهای کوچک از طریق شکل دهی سرد ساخته می شوند
یعنی از طریق کار سرد و شکل دادن آنها را می سازند. در واقع میله ی فنر را که به شکل صاف است را دور
یک میله ی دیگری می پیچانند و سپس میله ی فنر را قطع می کنند پس از اینکه به شکل الاستیک فنر در آوردند
میله را رها می کنند و فنر ساخته می شود. اما روش اصلی در ساخت فنرها روش نوردکاری است. در این
روش سه نقطه ی ثابت داریم و یک میله را از بین آنها عبور
می دهیم اگر این میله به اندازه ی کافی قطور باشد برای عبور
از این راه باید خم شود و اگر نقطه ی ثابت وسط را که قابلیت تنظیم شدن و بالا و پایین رفتن را دارد را به سمت
داخل بیاوریم شعاع انحنای مسیر کم می شود. در فرایند تولید فنر معمولاً از غلتک استفاده می شود و این میله
روی سه نقطه سر می خورد. مطابق شکل میله ی فنر را به کمک یک سیستم تغذیه که متشکل از دو غلتک است
به داخل مرحله ی نوردی می فرستیم در این مرحله همان طور که گفته شد میله خم می شود. برای اینکه قطر فنر
را تنظیم کنند جای نقطه ی متحرک وسط را تغییر می دهند. برای اینکه گام فنر را زیاد کنند میله ی فنر را با زاویه
به داخل مرحله ی نوردی می فرستند. اگر این زاویه را صفر کنیم کویل های فنر به هم چسبیده و در آن یک



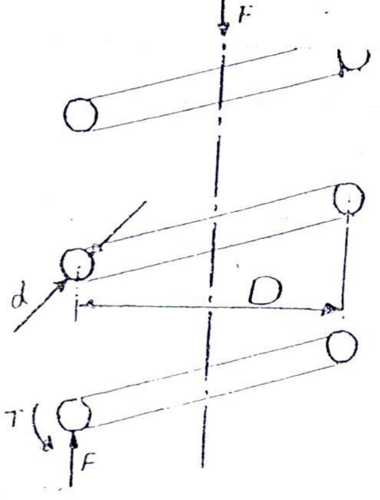
PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۷۸

پیش فشردگی برا ایجادی شود. فنرها انواع و اقسام مختلفی دارند که عبارت اند از: ۱- فنر کششی فشاری یا پیچ ۲- فنر پیچشی یا پیچ ۳- فنر تخت ۴- فنرهای خاص. یک سری تعاریف برای فنرهای فشاری وجود دارد: ۱- طول فنر هنگامی که هیچ باری روی آن نیست طول آزادی گویند و با l_f نمایش می دهد.

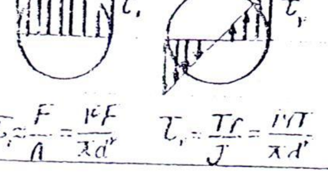


هنگامی که به فنر نیروی F وارد گردد و طول آن تغییر کند طول را طول بارگذاری نامیده و با l نشان می دهد. در نهایت اگر مقدار نیروی F آن قدر افزایش یابد که بین کویل های فنر فاصله ای نماند طول فنر به طول جامد یا طول مرده رسیده است که با l_s نشان می دهد. افزایش بیشتر مقدار نیروی F افزوده شود طول فنر تغییری نمی کند. اکنون به بررسی تنش های وارد بر یک فنر فشاری می پردازیم. فنر زیر دو نیرو معروض است:



با نوشتن تعادل استاتیکی به دست می آید: $T=\frac{FD}{2}$

که در این رابطه D قطر متوسط فنر نام دارد. بار روی تنش وارد بر فنر را هم داریم:



$\tau_1=\frac{F}{A}=\frac{4F}{\pi d^2}$ $\quad$ $\tau_2=\frac{Tr}{J}=\frac{16T}{\pi d^3}$

Subject:
Year. Month. Date.

که در این روابط d قطر سیم فنر است. افزایش تنش برشی تا کم [illegible] روی سطح فنر رخ می دهد

در این حالت داریم:

$$\tau_{Max} = \frac{16T}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \Rightarrow \tau_{Max} = \frac{8FD}{\pi d^3}\left\{1 + \frac{0.5d}{D}\right\}$$

اگر اندیس فنر (Spring index) را به صورت $C = \frac{D}{d}$ بیان نموده و در ادامه ضریب تنش برشی (coefficient shear stress) را به شکل $K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$ تعریف کنیم در نتیجه خواهیم داشت:

$$\tau_{max} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$$

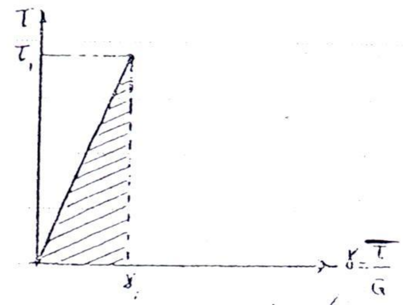
برای بیشتر فنرها معمولاً $6 < C < 12$ می باشد. علاوه بر اینکه مقدار C بالا بیانگر [illegible] شکل فنری باشد شاخصی از نوع ساخت فنر است. بدین معنی که هنگامی که اندیس فنر بالا باشد امکان ساخت فنر با دور سیم در راحت تر خواهد بود ولی برای فنرهای با اندیس فنر خیلی کوچک معمولاً فرایند ساخت به صورت دور دور کم است. ضریب تنش برشی را به خاطر تقریب هایی که در مراحل محاسبه وجود دارد تصحیح می کنند. یکی از این ضرایب تصحیح شده ضریب وال (Wahl) می باشد که به خاطر در نظر گرفتن انحنای فنر از آن استفاده می شود و برابر است با:

$$K_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

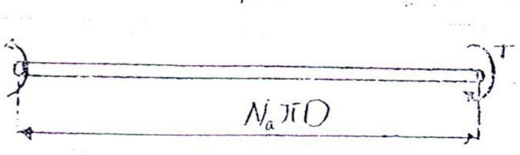
کاربرد این ضریب در روابطی مربوط به محاسبه تنش برشی تا کم [illegible] K_s می شود. معمولاً در اساس خستگی از K_w و در محاسبات استاتیکی از K_s استفاده می شود. اما در مواقعی که محاسبات

Subject:
Year. Month. Date. ۸۵

محافظانه انجام شود همواره از ضریب وال استفاده می‌شود. ضریب دیگری نیز وجود دارد که آن
ضریب برگ استراسر (BurgStrasser) می‌گویند و برابر است با: $K_B = \frac{4C+2}{4C-3}$
تا اینجا نحوه‌ی محاسبه‌ی تنش برشی وارد در فنر را شناختیم و نشان دادیم اگر فنری در اثر
شکستن بشکند این شکست از پیچشی درونی رخ خواهد داد. حالا به بررسی و محاسبه‌ی ضریب
فنریت یک فنر مارپیچ می‌پردازیم. برای این محاسبه دو راه وجود دارد: ۱- روش انرژی ۲- روش
کار مجازی. در اینجا ما از روش انرژی استفاده می‌کنیم. هنگامی که به یک فنر نیروی F وارد می‌شود و مثلاً
فنر جمع می‌شود درون فنر یک تنش ایجاد می‌شود که باعث ایجاد تنش برشی τ و کرنش برشی



γ می‌شود که این تغییر شکل الاستیک است. در صورت
یک انرژی کرنشی در فنر ذخیره می‌شود. این انرژی به ازای
واحد حجم برابر سطح زیر نمودار شکل روبرو می‌باشد. با این
اوصاف حال اگر به صورت یک عضو صاف مانند شکل زیر در نظر بگیریم که N_a تعداد حلقه‌های



مؤثر فنر است که در اینجا انرژی کرنشی ذخیره
شده و کرنش برشی ایجاد می‌شود. اگر

Subject:
Year. Month. Date.

E_1 را انرژی کرنشی ناشی از پیچش در فنر بگیریم خواهیم داشت:

$$E_1 = \frac{T\alpha}{2} = \frac{T\cdot\frac{TL}{GJ}}{2} = \frac{4F^2D^3N_a}{Gd^2}$$

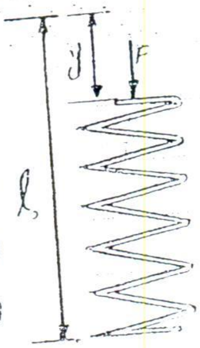
و E_2 انرژی کرنشی ناشی از نیروی برشی باشد داریم:

$$E_2 = \frac{\tau_1\gamma_1}{2} \times l\,\frac{\pi d^2}{4} = \frac{2F^2DN_a}{Gd^2}$$

لذا کل انرژی برابر خواهد بود با:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{4F^2D^3N_a}{Gd^2}\left\{1 + \frac{1}{2C^2}\right\}$$

با توجه به رابطه‌ی بالا مشاهده می‌شود که برای فنری با $C=6$ سهم انرژی ناشی از نیروی برشی نسبت به انرژی ناشی از پیچش کمتر از ۲٪ است که از این رو از این مقدار صرف نظر می‌شود. اگر فنر در اثر نیروی F به اندازه‌ی y جمع شود مقدار کار انجام شده روی فنر $U=\frac{F.y}{2}$ می‌باشد و چون فنر خطی است $y=\frac{F}{k}$ بوده که در این رابطه k ضریب فنریت فنر می‌باشد لذا:



$$U = \frac{F^2}{2k}$$

با برابر قرار دادن مقدار کار و انرژی به دست می‌آید:

$$U = E \Rightarrow K = \frac{Gd^4}{8N_aD^3}$$

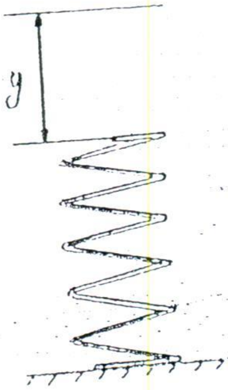
انتهای فنرهای فشاری می‌توانند به چهار شکل مختلف باشند که عبارت‌اند از: ۱- ساده (plain) ۲- ساده‌ی سنگ خورده (plain ground) ۳- تخت شده (squred) ۴- تخت سنگ خورده (squred ground). برای به دست آوردن تعداد حلقه‌های موثر، طول آزاد و طول [illegible]

در هر یک از چهار حالت انتهایی فنر از جدول زیر استفاده می‌شود. که در این جدول N_t تعداد کل حلقه‌ها، N_a تعداد حلقه‌های موثر و p گام فنر (فاصله‌ی محور تا محور دو حلقه‌ی متوالی) است. باید توجه کرد که برای استفاده از این جدول شرایط هر دو انتهای فنر باید یکسان باشند.

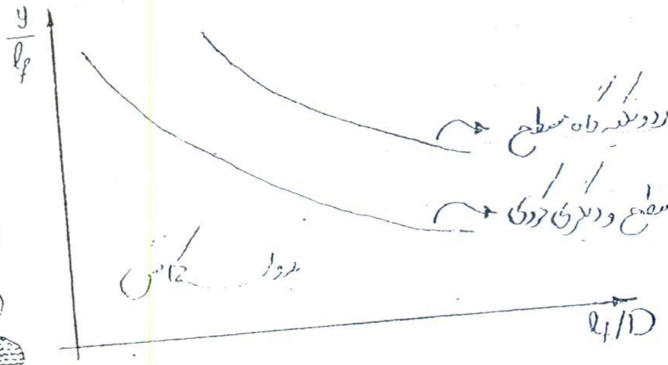
نوع انتهای فنر	ساده	ساده‌ی سنگ خورده	تخت شده	تخت سنگ خورده
حلقه‌های غیر موثر	۰	۱	۲	۲
حلقه‌های موثر	N_t	$N_t - 1$	$N_t - 2$	$N_t - 2$
طول آزاد	$pN_a - d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
طول مرده	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t

Subject:
Year ۸۷ Month ۳ Date ۷

کمانش فنرهای فشاری



در فنرهای فشاری به هنگام فشرده شدن امکان کمانش وجود دارد. با کاهش طول فنر و افزایش قطر آن احتمال کمانش فنر کاهش می یابد. نموداری مشابه نمودار زیر وجود دارد که برای یک فنر محدوده ی رخ دادن کمانش و عدم رخ دادن آن را از هم جدا می کند. این نمودار میزان فشردگی به طول آزاد بر حسب طول آزاد به قطر می باشد. این نمودار بستگی به نوع کنترل شدن دو انتهای فنر دارد.



رابطه ی مرز جدایش
پس ناحیه بدون کمانش
و رخ دادن کمانش
به صورت زیر است:

$$\frac{y}{l_f} = C_1 \left\{ 1 - \left(1 - \frac{C_2}{\lambda_{eff}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}$$

که در این رابطه C_1 و C_2 و λ_{eff} به صورت زیر تعریف می شود

$$\lambda_{eff} = \frac{\alpha l_f}{D}$$

$$C_1 = \frac{2\pi^2 (E-G)}{2G+E}$$

$$C_1 = \frac{E}{2(E-G)}$$

اما مقدار α برای حالات مختلف دو انتهای فنر به شرح زیر است: اگر هر دو سر فنر تکیه گاه تخت و درگیر باشد $\alpha=۰٫۵$ بوده و اگر یک تکیه گاه تخت درگیر و دیگری لولایی باشد $\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}=۰٫۷$ می باشد. اگر هر دو تکیه گاه لولایی باشد آنگاه $\alpha=۱$ است و در نهایت اگر یک تکیه گاه تخت درگیر و دیگر تکیه گاه آزاد باشد $\alpha=۲$ می باشد.

طراحی و محاسبات فنرها

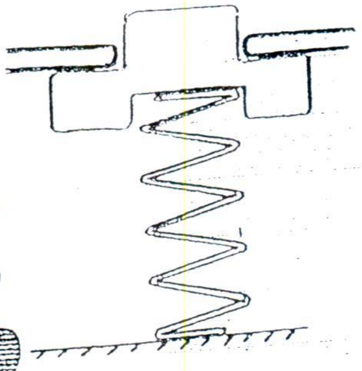
در طراحی فنرها معمولاً چند محدودیت توجه می شود که بعضی از آنها به شرح زیر است: ۱- محدودیت قطر مفتول های موجود در بازار: یکی از محدودیت های معیارهای طراحی فنر قطر مفتول آن است. واضح است که هر قطر مفتولی فنر در صنعت برای طراحی وجود ندارد لذا در هنگام طراحی یکی از ملاک های طراحی می بایست قطر مفتولی فنر باشد. قطرهای مفتولی فنر موجود در صنعت به میلیمتر عبارت است از:

۰٫۵، ۰٫۶، ۰٫۷، ۰٫۷۵، ۰٫۸، ۰٫۹، ۱، ۱٫۲۵، ۱٫۵، ۱٫۷۵، ۲، ۲٫۲۵، ۲٫۵، ۲٫۷۵، ۳، ۳٫۲۵، ۳٫۵، ۳٫۷۵، ۴، ۴٫۲۵، ۴٫۵، ۴٫۷۵، ۵، ۵٫۲۵، ۵٫۵، ۵٫۷۵، ۶، ۶٫۵، ۷، ۷٫۵، ۸، ۸٫۵، ۹، ۹٫۵، ۱۰. ۲- محدودیت طول فنر و فضا: با توجه به موارد استفاده ی یک فنر، میزان h_s و L_f بدست می آید با توجه به محل قرارگیری فنر می بایست به محدودیت فضایی توجه کرد. ۳- محدودیت تنش و دیگر تنش ها: معمولاً در یک فنرطول

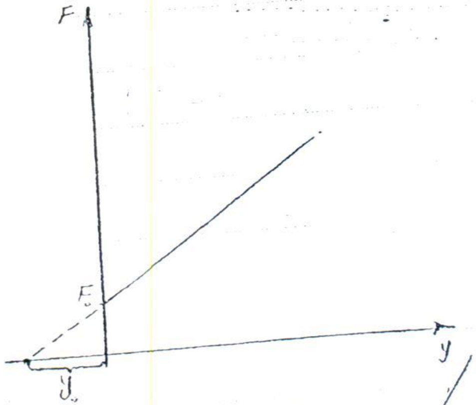
Month. Date.

است که فنر تحت بار هیچ گاه در حالت تسلیم و تغییر شکل پلاستیک نرسد. ۴- محدود بیش

فشردگی: در بعضی از طراحی ها لازم است که به فنر یک پیش فشردگی



داده شود. مثلاً در فنری که در کلید صفحه کلید کامپیوتر قرار دارد از این تکنیک استفاده شده است. به همین خاطر است که هنگامی که به دکمه نیروی کمی وارد شود جا به جا نمی شود و هنگامی که از مقدار حد مشخصی (F) بگذرد فنر به صورت خطی کاهش طول می دهد.



میزان پیش فشردگی معادل تغییر طول اولیه (y) ایجاد شده در فنر است. البته هر مسئله ای فرمول و جواب ندارد و مسائل طراحی فنری وجود دارند که هیچ فرمولی جواب گوی معیارهای طراحی نیست. اصولاً فنر یک وسیله با بازده حجمی بالا برای جذب انرژی نیست، زیرا از کل حلقه های انتهایی فقط کویل ها انرژی جذب می کنند و حلقه های داخل فنر بدون جذب انرژی اتلاف می شود. البته از همین حلقه های کویل هایی فقط پوسته ی فنر به حد بالا انرژی جذب می کند و کل حلقه های فنر یک به مرکز نزدیکی فنر کمتر انرژی جذب می نمایند. به همین خاطر در بعضی از کاربردهای صنعتی به جای فنر از یک میله لاستیکی

Subject:
Year. Month. Date.

استفاده می شود. مثلاً در بعضی از اتوبوس ها از نوعی گازنده های فنر استفاده می شود. با همه ی این اوصاف باز هم فنر یکی از پرکاربردترین وسایل در جذب انرژی در صنایع صنعتی می باشد.

فنرهایی که قطر میله ی آنها کمتر از ۶ میلی متر است به صورت سرد ساخته می شوند و سر آن دسته از فنرهایی که قطر میله ی آنها بیش از ۶ میلی متر است و الا بس فنر خیلی کوچک نیست را نیز به صورت نورد سرد می سازند در غیر این صورت فرآیند ساخت به صورت نورد گرم خواهد بود. فنرهایی که می خواهند در خستگی کار کنند را از جنس هایی می سازند که عملیات حرارتی بپذیرند. به این شکل که فنر را در فاز عملیات حرارتی نشده شکل می دهند و پس عملیات حرارتی را روی فنر انجام می دهند که این عملیات حرارتی شامل بردن فنرها به آستنیت و سرد کردن آن داخل روغن است. پس یک بار دیگر فنر را گرم می کنند تا تردی آن کاسته و چکش خوار شود. علاوه بر این روی فنر کارهای دیگری به منظور بالا بردن تنش سطح انجام می شود. فرآیند دیگری که روی فنر انجام می شود نشست دادن (setting) فنر است. که در این فرآیند فنر را یک بار در طول برده می رسانند و رها می کنند و برای این فنرها قبل از نشست دادن رابطه ی $F_s < F_y$ صادق نیست ولذا این کار فنر در بار اول تمام تغییر شکل پلاستیک خود را می دهد و در

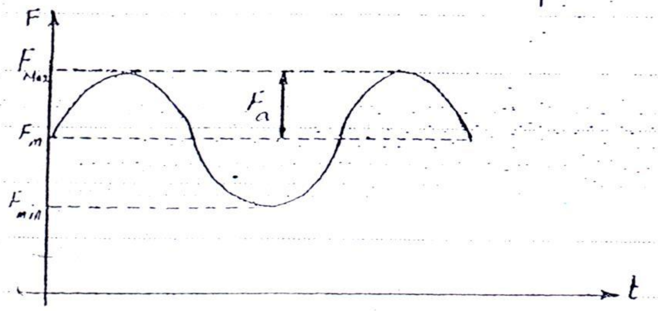
Subject:
Year. Month Date. ( )

دوره‌های بعد فنر دیگر تا مرز ناحیه‌ی پلاستیک می‌رود ولی از آن عبور نمی‌کند. لذا طول آزاد این نوع فنرها طول فنر پس از نشست دادن است. این تکنیک در ساخت فنر سوپاپ ماشین بسیار کاربرد دارد. فولادهای مورد استفاده در ساخت فنر از جنس فولادهای کربنی هستند. میزان درصد کربن آنها متوسط و گاهی زیاد است. استحکام نهایی آنها بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ مگاپاسکال بوده و سخت شده و تا حالتی ... در آنها وجود دارد. این فولادها به دلایل متعدد نظیر جلوگیری از ترک آلیاژی هستند. بعضی از این آلیاژها عبارت است از: کروم، مولیبدن و منگنز. علاوه بر استحکام نهایی، استحکام تسلیم آنها نیز بالا می‌باشد. معروف‌ترین نوع فولاد فنر به نام سیم موسیقی فولادی (Music wire steel) می‌باشد. جنس فنرهای کشش ساخته می‌شود. یعنی میله‌ای با قطر اولیه‌ی حدود 12mm در طی چند مرحله کشش به قطر مورد نظر می‌رسد. استحکام تسلیم فولاد به کار رفته در فنر وابسته به قطر میله است هرچه قطر کمتر باشد این فولادها استحکام تسلیم بالاتری دارند. در مورد بارگذاری استاتیکی روابط زیر برقرار است:

$$\left.\begin{array}{l} S_y = 0.75\, S_{ut} \\ S_{sy} = 0.577\, S_y \end{array}\right\} \Longrightarrow S_{sy} = 0.45\, S_{ut}$$

Subject:
Year. Month. Date.

فنرها علاوه بر آنکه در حالت استاتیکی استفاده می‌شوند در حالت دینامیکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این دسته فنرها می‌توان به فنر سوپاپ ماشین و یا فنر کمک فنرهای خودرو اشاره کرد. حال به طراحی و بررسی فنرها در حالت دینامیکی می‌پردازیم:



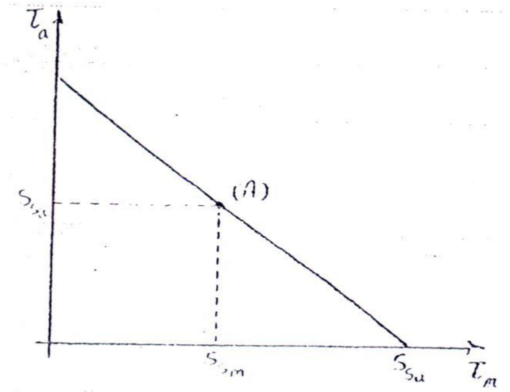
اگر فنری مطابق شکل روبرو بارگذاری شود در مورد این فنر می‌توان نوشت:

$$F_m = \frac{F_{max}+F_{min}}{2} \qquad F_a = \frac{F_{max}-F_{min}}{2}$$

و نیز در مورد تنش‌های فنری τ_m و τ_a خواهیم داشت:

$$\tau_a = k\frac{8F_aD}{\pi d^3} \qquad \tau_m = k\frac{8F_mD}{\pi d^3}$$

از آنجایی که فنرها یا کششی هستند و یا فشاری لذا هر فنر تحت بار دینامیکی یک τ_a و $\tau_m \neq 0$ خواهد داشت لذا به کمک آزمایش هیچگاه مقدار S_e یا S_{se} که استحکام حد دوام در حالت‌های تمام معکوس هستند و در آنها $\tau_m = 0$ است را نمی‌توان به دست آورد. لذا محاسبه‌ی S_{se} در فنرها برای به دست آوردن خط گودمن مرسوم نمی‌باشد.



لذا برای به دست آوردن خط گودمن از یک نقطه‌ی کمکی که در آن نقطه [illegible] استفاده می‌نماییم

Subject:
Year. Month. Date:

نمودار ترکیبی از دامنه نوسانی و یک مقدار میانگین ثابت وجود دارد استفاده می شود. دامنه نوسانی و مقدار ثابت این نقطه برای یک بارگذاری متفاوت که در آن عمر قطعه نهایت با 10^6 سیکل است آزمایش می شود. مقدار S_{su} برای هر مقدار بارگذاری خمشی به صورت تقریبی برابر است با:

$$S_{su} \approx 0.67 S_u$$

برای نقطه مورد آزمایش با همان نقطه A دو نتیجه وجود دارد:

* اگر فنر ساچمه زنی نشده باشد:

$S_{sa} = 241\ MPa$ $\quad S_{sm} = 379\ MPa$

* اگر فنر ساچمه زنی شده باشد:

$S_{sa} = 398\ MPa$ $\quad S_{sm} = 534\ MPa$

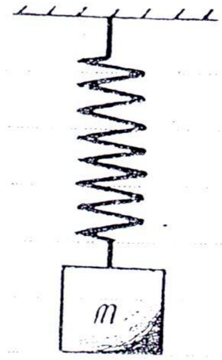
فرآیند ساچمه زنی (shot pinning)، فرآیندی است که ذرات ساچمه به سطح فنر روی سطح آن تغییر شکل پلاستیک محدود ایجاد می شود که باعث افزایش سختی سطح می گردد و با ایجاد ترک های ایجاد شده در سطح را در طی عملیات حرارتی ترمیم می کند. اکنون خط گودمن را می توان رسم نمود.

اگر فنری که تحت بارگذاری متفاوت است را $B\Big|_{\tau_a}^{\tau_m}$ نمایش دهیم: اگر نقطه B زیر خط گودمن باشد فنر در طی بارگذاری عمر نهایت خواهد کرد در غیر این صورت عمر آن محدود خواهد بود.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۸۹

باید توجه کرد که ذرات همه‌ی نقاط در حال نوسان هستند که به فرکانس نوسان ذرات، فرکانس طبیعی می‌گویند. در طراحی یک فنر باید به گونه‌ای عمل کرد که بسامد زاویه‌ای یا فرکانس نوسان فنر با فرکانس طبیعی سایر نقاط برابر شود که در این صورت پدیده‌ی تشدید رخ خواهد داد.



اگر فنر را بدون جرم فرض شود بسامد زاویه‌ای فنر بر حسب rad/s برابر است با:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

که در رابطه‌ی بالا k ضریب سختی فنر می‌باشد. خود فنر یک فرکانس طبیعی دارد که مقدار این فرکانس بر حسب سیکل بر ثانیه عبارت است از:

$$f = \frac{\alpha}{2}\sqrt{\frac{k}{m_s}}$$

که در رابطه‌ی فوق m_s جرم خود فنر نام دارد. رابطه‌ی بالا معروف به رابطه فرکانس وال (wahl Freq) است. در این رابطه α بسته به شرایط زیر تعیین می‌شود:

دو سر فنر محدود باشد $\alpha = 1$ است:

یک سر فنر آزاد باشد $\alpha = \frac{1}{2}$ است:

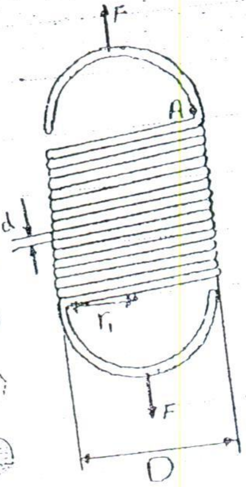
با توجه به مطالب گفته شده واضح است که فرکانس فنر باید دور از فرکانس طبیعی موجود در فنر باشد تا جلوی پدیده‌ی تشدید گرفته شود.

Subject:
Year. ۸۷ Month. ۳ Date: ۱۲ ( )

فنرهایی که در ساختمان خود کویل دارند به سه نوع تقسیم می‌شوند: ۱. فنرهای فشاری ۲. فنرهای کششی ۳. فنرهای پیچشی. پس از این در مورد فنرهای فشاری صحبت و مطالعه می‌کنیم.

۲. فنرهای کششی:

دو نقطه در فنرهای کششی وجود دارد که حساس‌تر از سایر نقاط هستند و در هنگام طراحی باید توجه گردد تنش در این دو نقطه از حد مجاز عبور نکند. نقطه‌ی اول یا همان نقطه‌ی A



نقطه‌ای روی پوسته‌ی داخلی فنر در بست پس از شروع انحنای انتهای فنر می‌باشد. تنشی که در نقطه‌ی A در اثر نیروی F ایجاد می‌شود عبارت است از:

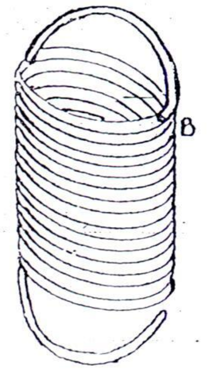
$$\sigma = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} + \frac{(F \cdot r_1) \times \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

که عبارت اول ناشی از نیروی F و قسمت دوم ناشی از گشتاور خمشی نیروی F می‌باشد. اگر نقطه‌ی A را روی پوسته‌ی خارجی فنر در نظر بگیریم مقدار این دو تنش از همدیگر کم می‌شوند و تنش حاصل مقدار کمتری بدست می‌آید. اگر ضریب تصحیح K_A را به صورت $K_A = \frac{4C_1^2 - C_1 - 1}{4C_1(C_1 - 1)}$ تعریف کنیم و همچنین داشته باشیم: $C_1 = \frac{2r_1}{d}$ و $r_1 = \frac{D}{2}$ با در نظر گرفتن این تصحیحات خواهیم داشت:

$$\sigma = F\left(K_A \frac{16D}{\pi d^3} + \frac{4}{\pi d^2}\right)$$

Subject:
Year Month Date No.

مشاهده می‌شود که با کوچک شدن r_2 یا انطباق C_2 و K_B کوچک می‌شوند ولی مقدار تنش در نقطه‌ی A کمتر می‌شود به همین دلیل در چند حلقه‌ی آخر مقدار r_2 را کمتر می‌کنند تا تنش در نقطه‌ی A کمتر شود. اندازه این کوچک‌تر از فنرهای کششی را نقطه‌ی $r_1 = \frac{D}{2}$ برقرار می‌باشد. نقطه‌ی دوم



یا همان نقطه‌ی B، نقطه‌ای روی پوسته‌ی خارجی فنر درست قبل از شروع انحنای نهایی فنر می‌باشد. اگر شعاع انحنای نقطه‌ی B را r_2 بنامیم، در این نقطه یک تنش ناشی از پیچش وجود دارد و یک تنش ناشی از خود نیروی F که از این مقدار صرف نظر می‌شود. مقدار تنش برشی در نقطه‌ی B برابر است با:

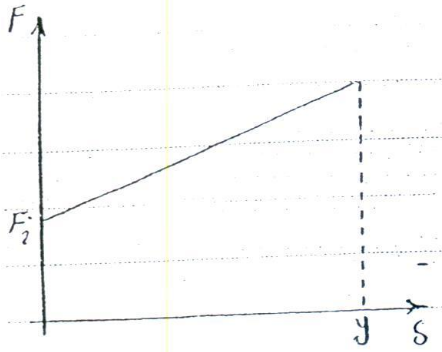
$$\tau_B = K_B \times \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$C_2 = \frac{2r_2}{d}$$

که در این رابطه K_B ضریب تصحیح برابر با $K_B = \frac{4C_2 - 1}{4(C_2 - 1)}$ است و نیز داریم:

در طراحی فنر باید هر دو نقطه را جهت کنترل قرار داد تا از ایمن بودن آنها اطمینان حاصل کرد. اگر اوقات در هنگام ساخت فنرهای کششی یک تنش در آن ایجاد می‌کنند که این تنش مقدار تنش فشرده‌ای در فنرهای فشاری می‌باشد. به این معنی که فنر کششی امکان ~~جمع شدن~~ را دارد تا باز جمع می‌شود ولی آن جا که کویل‌ها به هم دیگر چسبیده از این امکان وجود ندارد. به همین دلیل است که این کوئل

Subject:
Year.　　Month.　　Date　　( )



فنرها در جابجایی صفر نیرویی برابر با F_i را تحمل می‌کنند.

لذا مقدار نیرو در هر لحظه مطابق با نمودار برابر است با:

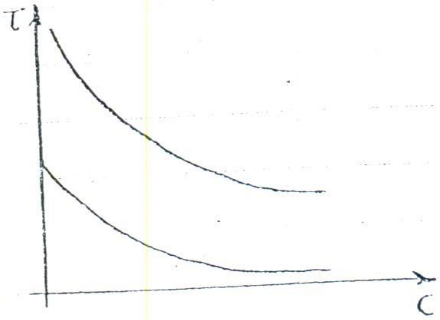
$$F = F_i + k\delta$$

هنگامی که فنر به وسیله‌ی نیروی F تحت کشش قرار می‌گیرد،

تنها حلقه‌های بدنه (N_b) باعث تغییر شکل نمی‌شوند بلکه بخش قلابی B نیز باعث جابجایی در دو انتهای فنر می‌گردد. در نتیجه تعداد حلقه‌های موثر (N_a) برابر است با:

$$N_a = N_b + \frac{G}{E}$$

برای فنرها در مختلف اندیس فنر مقدار تنش اولیه‌ی ناشی از نیروی F_i با اندیس به مقدار خاص حساب نمودار روبه‌رو باشد پیشنهاد می‌شود که در هنگام ساخت و طراحی فنر این نکته توجه شود.



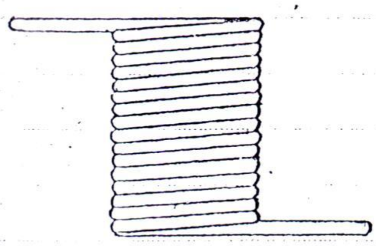
برای نشست یک قطعه در دو طرف معمولاً از فنرها استفاده می‌شود.

مثلاً در مورد یک کتاب که روی میز بدون نشست قرار دارد تعادل از نوع خنثی است. اگر این کتاب توسط دو فنر فشاری از دو طرف نشست شود تعادل از نوع پایدار می‌باشد و اگر این دو فنر کششی باشند تعادل از نوع ناپایدار است. لذا فنرهای کششی بهترین نوع فنرها برای نشست کردن هستند.

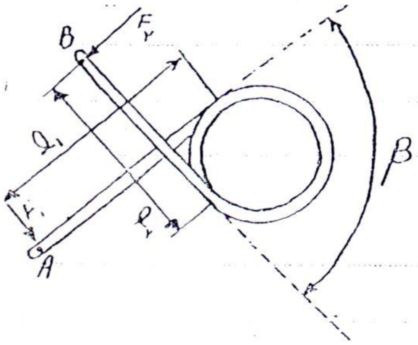
PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۸۲

۳_ فنرهای پیچشی:



این نوع فنرها از لحاظ ظاهری شبیه فنرهای فشاری و کششی هستند. این نوع فنرها به شدت ناپایدار هستند به همین منظور می‌بایست آنها را نشست کرد که معمولا این کار توسط یک پین که از وسط فنر عبور می‌کند انجام می‌پذیرد. نکته‌ی دیگری که باید توجه کرد این است که اگر دو



سر آزاد فنر با هم موازی نباشند ممکن است مساله شکل با هم زاویه‌ی β بسازند. اگر تعداد حلقه‌های بدنه‌ی فنر که می‌بایست بدون پیچش باشند را N_b بنامیم: تعداد حلقه‌های موثر فنر (N_a) برابر است با: $N_a = N_b + \frac{\beta}{360}$

اکنون مشابه فنرهای فشاری به محاسبه‌ی ضریب سختی فنرهای پیچشی به کمک روش انرژی می‌پردازیم. قسمت‌های جذب کننده‌ی انرژی را در سه قسمت تقسیم می‌کنیم: حلقه‌های صاف ورودی و خروجی که به صورت یک میله‌ی یک سر درگیر جذب انرژی می‌کنند و در کنار آن حلقه‌های بدنه که به صورت یک فنر که گشتاور به آن وارد می‌شود جذب انرژی می‌کند. اگر فرض کنیم به فنر نیروی

Subject:
Year: Month: Date:

به عنوان F_1 و F_2 وارد می شود آنگاه داریم:

$$M = F_1 l_1 = F_2 l_2$$

مقدار تغییر زاویه ی حلقه ی ورودی برابر است با:

$$\theta_{l_1} = \frac{y_A}{l_1} = \frac{F_1 l_1^2}{3EI} = \frac{64 M l_1}{3\pi d^4 E}$$

به طور مشابه این تغییر زاویه برای حلقه ی خروجی برابر می شود با:

$$\theta_{l_2} = \frac{64 M l_2}{3\pi d^4 E}$$

حالا به کمک قضیه ی کاستیگلیانو به محاسبه ی تغییر زاویه ی بدنه می پردازیم (فرض می شود نقطه ی B ثابت است):

$$U = \int \frac{M^2 dx}{2EI} \xrightarrow{\text{قضیه ی کاستیگلیانو}} y_b = l_1 \theta_b = \frac{\partial U}{\partial F_1}$$

$$\Rightarrow l_1 \theta_b = \int_0^{\pi N_b D} \frac{\partial}{\partial F_1}\left(\frac{F_1^2 l_1^2}{2EI}\right) dx \Rightarrow \theta_b = \frac{64 F_1 l_1 D N_b}{d^4 E} = \frac{64 M D N_b}{d^4 E}$$

مقدار تغییر زاویه ی کلی برابر است با:

$$\theta_t = \theta_{l_1} + \theta_{l_2} + \theta_b = \frac{64 M D}{d^4 E}\underbrace{\left(N_b + \frac{l_1 + l_2}{3\pi D}\right)}_{N_a}$$

می دانیم ضریب سختی فنر پیچشی خطی در رابطه ی $M = k_t \theta$ صدق می کند که در این رابطه k_t برحسب $\frac{N.m}{rad}$ می باشد لذا داریم:

$$k_t = \frac{M}{\theta} = \frac{d^4 E}{64 D N_a}$$

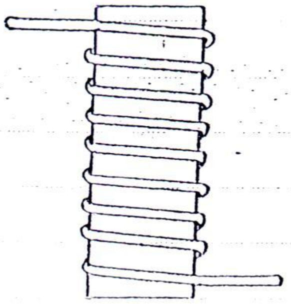
در اکثر اوقات واحد ضریب سختی فنر پیچشی $\frac{N.m}{rev}$ در نظر گرفته می شود که کافی است عبارت بالا در 2π ضرب شود پس از در نظر گرفتن تصحیحات لازم برای ضریب سختی فنر خواهیم داشت:

$$k_t = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a}$$

باید توجه کرد که با چرخیدن فنر پیچشی متناسب با جهت چرخش فنر، قطر داخلی فنر کم یا زیاد می شود.

Subject:
Year. Month. Date. ٨٥

حال از این گفته شد برای حفظ تعادل فنر یک پین لازم است که داخل فنر قرار گیرد اگر مقدار قطر داخلی فنر (D_i) برابر با قطر پین (D_p) باشد با کمی چرخش فنر در جهت زیاد شدن حلقه‌ها فنر به پین می‌چسبد و حلقه‌ها دیگر فرصت خود را از دست می‌دهند و تنها فرصت مربوط به بازوهای فنر می‌شود. برای جلوگیری از این اتفاق قطر داخلی فنر را همواره



بزرگتر از قطر پین می‌سازند یعنی داریم:

$$\Delta = D_i - D_p \quad , \quad D_i = D - d$$

که در این روابط D قطر فنر و d قطر سیم فنر می‌باشد. اگر فنر تحت پیچش قرار گیرد و زاویه‌ی دوران در جهت زیاد شدن حلقه‌ها را θ_c و در جهت کم شدن حلقه‌ها را با همین این مقدار کاهش در قطر فنر به اندازه دوران عبارت است از:

$$D' = \frac{N_b \times D}{N_b + \theta_c}$$

و در نتیجه لقی در این حالت برابر خواهد بود با:

$$\Delta = D' - d - D_p$$

حالا به محاسبه‌ی تنش در فنرهای پیچشی می‌پردازیم. در این حالت تنش‌های مهم تنش ناشی از خمش می‌باشد:

$$\sigma = k \cdot \frac{MC}{I} \Rightarrow \sigma = K_i \times \frac{32 F_1 \times l_1}{\pi d^3}$$

که K_i در این رابطه ضریب تصحیح برابر با $K_i = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C-1)}$ می‌باشد.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

استحکام های نهایی در حالات مختلف برای بارگذاری استاتیکی عبارت است از: ۱- اگر جنس فنر از سیم موسیقی (Music wire) باشد $S_y = 0.78 S_u$ می باشد. ۲- اگر در روغن آب داده شده باشد (Oil Tempered) $S_y = 0.87 S_u$ می باشد. ۳- اگر از جنس فولاد آستنیتی باشد (Astenite steel) $S_y = 0.61 S_u$ می باشد. همان طور که در فنرهای فشاری مطرح شد استحکام نهایی فنرها وابسته به قطر سیم است. این وابستگی به صورت رو به رو است: $S_u = A d^m$

که A و m در این رابطه ثابت هایی هستند که وابسته به جنس فنر می باشند. در نتیجه به کمک این رابطه و روابطی که در ابتدای صفحه آمد می توان استحکام تسلیم فنرها را محاسبه کرد.

در مورد بارگذاری متناوب نظریه ی مورد استفاده برای فنرهای پیچشی نظریه ی Gerber است.

استحکام حد دوام با کمک رابطه ی رو به رو محاسبه می شود:

$$S_e = \frac{S_r/2}{1-((S_r/2)/S_u)^2}$$

که S_r در این رابطه به کمک خواص فنر از جدول ۱۰-۱۰ بدست می آید. اگر استحکام دامنه بارگذاری متناوب را S_a بنامیم:

$$S_a = \frac{r^2 S_u^2}{2 S_e}\left(\sqrt{1+\left(\frac{2S_e}{rS_u}\right)^2}-1\right)$$

که در این رابطه r نسبت دامنه ی نوسانی گشتاور به گشتاور میانگین می باشد:

$$r = \frac{M_a}{M_m}$$

در صورت سالم ماندن فنر در بارگذاری ضریب اطمینان آن عبارت است از:

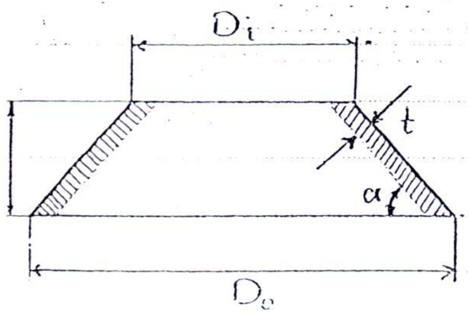
$$n_f = \frac{S_a}{\sigma_a}$$

Subject .
Year . Month . Date . ۸۵

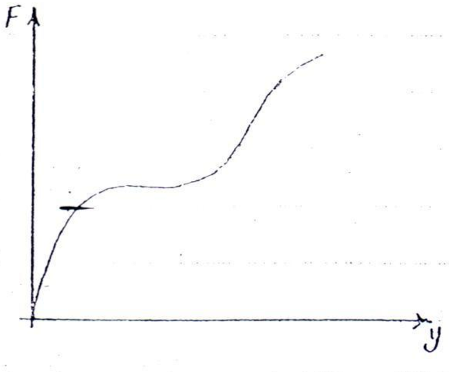
انواع دیگر فنرها

انواع دیگری از فنرها وجود دارند که کاربرد آن ها کمتر از فنرهای کویل دار است ولی کارائی های آنها متنوع تر است که در زیر به بعضی از آنها اشاره می شود.

۱. فنرهای بشقابی: این نوع فنرها شبیه بشقاب هستند. پارامترهای مهم در طراحی این نوع فنرها ضخامت بشقاب (t) و ارتفاع (h) می باشد.



این نوع فنرها هنگامی که فشرده می شوند به شکل یک صفحه در می آیند. فنرهای بشقابی رفتار خطی از خود نشان می دهند. نمودار نیرو - جابجایی برای این گونه فنرها شبیه نمودار روبرو است:



نمودار این نوع فنرها به نسبت $\frac{h}{t}$ آنها بستگی دارد و با تغییر این نسبت شکل نمودار تغییر می کند. مهمترین خاصیت این نوع فنرها این است که کل ابعاد این فنرها کوچک می باشد. لذا اگر در یک فضای کوچک بار [illegible] نیرو خیلی بالا باشد از این نوع فنرها استفاده می شود. حسن دیگر آنها همین رفتار غیر خطی آنها می باشد.

Subject:
Year. Month Date. ( )

زیرا در بعضی از موارد رفتار غیر خطی مورد نظر است. مثلاً در بسیاری از موارد مطلوب این می باشد که با افزایش نیرو فنر سخت تر شود. از آنجایی که تهیه این نوع فنرها بالا است گاهی مواردی از این نوع فنرها را به صورت موازی می بندند تا زمانی که سخت تر شود از این نوع فنرها در راحتی تشک فنر وسایل نقلیه استفاده می شود.

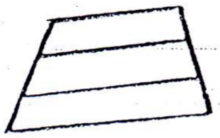
۲- فنرهای نیرو ثابت: در مواردی که نیاز به خاصیت فنری می باشد ولی مورد نظر این است که با تغییر مکان فنر مقدار نیرو تغییر نکند از این نوع فنرها استفاده می شود. یکی از کاربردهای این نوع فنرها در ساخت موتورهای الکتریکی با بازده بالای می باشد. به این صورت که در این نوع موتورها وظیفه ی هدایت و تماس الکتریکی (contact) در قسمتی به عهده ی یک زغال گذاشته می شود که برای هدایت مناسب الکتریکی نیاز به یک تماس مناسب است. اگر زغال به صورت معمولی در دو فنر با فشار بالا متصل شود در مرتب خورده می شود و اگر تماس مناسب نباشد جرقه رخ خواهد داد. برای این منظور پشت این نوع زغال از فنر نیرو ثابت با نیروی مورد نظر استفاده می شود تا با خورده شدن آرام زغال فنر نیروی ثابتی به زغال وارد کند.

۳- فنرهای پیچی (Volute Spring): در این موارد یک ورق با عرض مناسب حدوداً ۰/۱ mm را

Subject:
Year.   Month.   Date. ۸۵

ورقهای حلزونی ۳mm را به صورت روی هم

می سازند. از ویژگی های این نوع فنر



این است که طول هر دو ی آن برابر

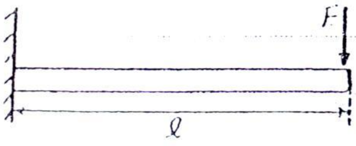
پهنای ورق اولیه می باشد لذا حتماً از آن

کم است. ایراد این نوع فنرها این است که هنگام بسته و باز شدن روی هم می لغزند و می شوند

لذا آنها را از جنس هایی که ضریب اصطکاک پایین و مقاومت در برابر سایش بالا دارند (مثل

آلیاژ مس - برنز) می سازند.

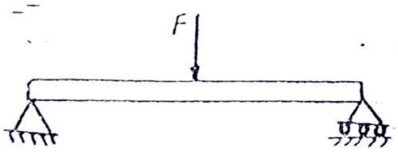
۴- فنرهای تخت: تیرها با انواع تکیه گاه ها به صورت فنر عمل می کنند مثلاً برای یک تیر یک سر درگیر



دو سر روی رابطه ی نیرو و جابجایی به صورت $\delta = \frac{Fl^3}{3EI}$

است. البته این رابطه با فرض کوچک بودن جابجایی ها

درست می باشد اما با این فرض این نوع فنرها خطی می باشند. با تغییر نوع و محل های تکیه گاه های تیر

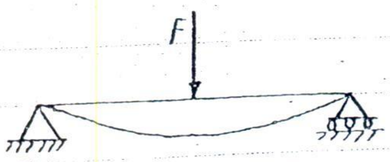


انواع دیگر این فنرها را مثلاً دو سر مفصلی روی رو را ایجاد

کرد. با توجه به اینکه بیشترین تنشی که به این نوع فنر وارد

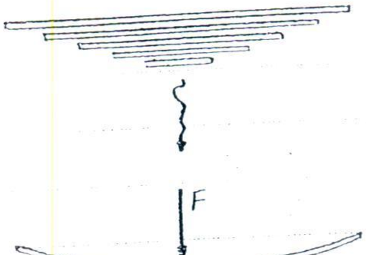
Subject :
Year . Month . Date . ( )

می شود در مقطع وسط رخ می دهد و هر چه به تکیه گاه ها نزدیک می شویم مقدار تنش کمتری می شود لذا برای استفاده ی بهینه از ماده دو راه وجود دارد یکی اینکه پهنای فنر با همان نسبت با نزدیک شدن به دو تکیه گاه کم شود و راه دوم کم کردن ارتفاع فنر مشابه شکل روبرو



است. چون معمولا کم کردن پهنا زیبا نیست معمولا از کم کردن ارتفاع در این مقاطع استفاده می شود. این فنر است معمولا به شکل [illegible] می شوند. به این نوع فنرها فنرهای پارابولیک گفته می شود

۵- فنرهای برگی: چون نحوه ی ساخت فنرهای پارابولیک [illegible] است از این گونه فنرها استفاده می شود. در این نوع فنر مشابه شکل صفحات حلقه ها یکسان ولی طول آنها به تدریج کم می شود. چون این حلقه ها در جهت های مختلف خاصیت های فنری متفاوت دارند برای استفاده از فنر در جهت مورد نظر به آن انحنای اولیه می دهند. فنرهای برگی در کامیون ها مورد استفاده قرار می گیرد. هنگامی که این فنرها در جهت F تغییر طول دهند چون شعاع انحنای برگ های مختلف با هم متفاوت است [illegible] روی همدیگر



Paper

Subject:
Year. Month. Date. ۸۶

می‌گیرند لذا یک نیروی اصطکاک که متناسب با میزان فشرده شدن این ترکیب‌ها است به هم
است به آنها وارد می‌شود و هنگام بازگشت فنر به حالت اولیه روی منحنی رفت نمودار حرکت نمی‌کند
و یک اتلاف انرژی ناشی از این اصطکاک در آنها وجود دارد که این انرژی به انرژی گرمایی تبدیل
می‌شود بنابراین فنرهای ترکیبی به خودی خود یک میرایی ناشی از این نوع اتلاف انرژی دارند. رفتار
این نوع فنرها نیز به همین دلیل غیرخطی می‌باشد. یعنی این نوع فنرها را با ملحق کردن فنر ترکیبی و فنر تک
می‌توان متنوع‌تر کرد. به این صورت که دو یا چند دسته فنر ترکیبی با انواع اسمای مشخص وجود داشته
و بین آنها با فاصله‌ی مناسب فنر تک قرار می‌دهند. اگر دو تکیه‌گاه فنر حلقوی ثابت باشد با تغییر
طول فنر، ترکیب‌های فنر تک کشش قرار می‌گیرد که این اتفاق نامناسب و موجب شکست
فنر می‌شود. لذا در طراحی یکی از تکیه‌گاه‌ها را در راستای x آزادی می‌سازند که امکان جابجایی وجود داشته باشد
از آنجایی که به ترکیب‌های بالایی و پایینی تنش‌های فشاری و کششی وارد می‌شود این ترکیب‌ها را
متناسب با نوع تنش وارده بر آنها از الیاف مقاوم در برابر کشش یا فشار می‌سازند و در این صورت
فنرهای ترکیب (Composite Spring) ساخته می‌شود. ~~فقط با توجه~~ گردد که الیافی که در مقابل فشار
مقاوم هستند در برابر کشش به سرعت می‌شکنند و برعکس لذا در طراحی باید به الیاف تنش مناسب وارد شود.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال: مطلوب است طراحی فنر زیر دکمه‌های صفحه کلید یک کامپیوتر. این فنر دارای یک پیش بار به مقدار $F_i = 50gr$ است. فرض می‌شود تغییرات نیرو طی پایین آمدن دکمه ۴۰٪ نیروی اولیه است یا به عبارت دیگر $\Delta F = 40\% F_i$. مقدار پایین آمدن دکمه $\Delta = 3mm$ می‌باشد و طول نهایی فنر از تغییرات طول فنر در حین فشرده شدن است به عبارت دیگر $\ell = 10\% \Delta$. سطح بالای کلید یک مربع با ضلع $8mm$ فرض می‌شود.

در این مسأله در ابتدا باید بدانیم که جنس و مشخصات هندسی معمول فنرها چگونه است و فنری که بر روی آن پیچیده شده (D) چقدر است و در نهایت چه تعداد حلقه (N_a) باید وجود داشته باشد نیرو را بدارد که هر سه مقدار بالا به صورت مشخص به دست آید. بعضی از اوقات در حین حل مسأله بعضی از این سه مقدار را باید در نظر بگیریم و سپس باید مقدارهای دیگری نظیر ضریب ایمنی را پیدا کنیم. بر اساس معیار حل ممکن است روش حل فرق کند. در این مسأله در قدم اول جنس فنر را تعیین می‌کنیم. چون نوع طراحی برای یک قطعه ظریف و با کلاس طراحی بالا نظیر صفحه کلید می‌باشد پس از جنس خوب برای این فنر استفاده می‌کنیم. با توجه به این مطلب جنس فنر را سیم موسیقی (Music wire) در نظر می‌گیریم. با انتخاب جنس فنر یک

PAPCO

سری محدودیت برای ما ایجاد می‌شود برای مثال در جنس سیم نوشته هر مقدار قطر حلقه (d)
وجود ندارد و قطر حلقه به صورت گسسته تغییر می‌کند. محدودیت قطر خارجی فنر (D_o) این است
که بالاتر از ۸mm نشود به عبارت دیگر: $D_o = D + d < 8mm$

در مورد تعداد حلقه‌ها محدودیت خاصی وجود ندارد ولی فقط باید توجه کرد که طول برده‌ی فنر
نباید خیلی زیاد باشد. در مورد طراحی صفحه کلید مطلوب این است که ضخامت آن خیلی زیاد
نباشد. ابتدا پارامترهایی که به صورت مشخص به ما داده شده است یا می‌توان از روی داده‌ها
به صورت معین به دست آورد را محاسبه می‌کنیم. یکی از این موارد ثابت فنر است:

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta} = \frac{0.4 \times (0.005 \times 10)}{3} = 0.0067\ N/mm$$

$$G = 82.7\ GPa$$

با توجه به مشخص فرض کردن جنس فنر داریم:

برای فنرهای فشاری داریم $k = \frac{Gd^4}{8N_aD^3}$ اکنون به تغییر قطر حلقه‌ی فنر (d) و قطر فنر (D)
و تعداد دور (N_a) را با سعی و خطا به دست می‌آوریم. برای اینکه فنر به صورت مطلوب سرجای
خود قرار بگیرد دورهای انتهایی فنر را تخت و سنگ خورده در نظر می‌گیریم لذا داریم:

$N_t = N_a + 2$ $\qquad L_s = (N_a + 2)d$

Subject:
Year:　　Month:　　Date: (　)

حالا شروع به بررسی خطاهای کنیم. در انتخاب اول قطر مفتول را کوچکترین مقدار موجود در نظر بگیریم

چون با این محاسبات احتمالاً جسم درون وارد بین آن جسم شده در طراحی محاسبه شود.

ولی ممکن است به خاطر بی‌دقتی با مشکل باشد. اگر این اتفاق افتاد در مرحله به مرحله به قطر مفتول (d) اضافه

می‌کنیم لذا در این حالت داریم:

$d = 0.1\ mm$

با توجه به نکات طراحی اندیس فنر را ۱۰ در نظر بگیریم:

$$C = \frac{D}{d} = 10 \Rightarrow D = 1\ mm$$

در نظر می‌گیریم که فنر بالانس فنر عادی است ولی با همه این اوصاف به محاسبه مقدار

پس در فنر می‌پردازیم:

$$N_a = \frac{Gd^4}{8kD^3} \Rightarrow N_a = 16 \Rightarrow l_s = (N_a + 2)d = 1.8\ mm$$

اگر ۰٫۳ را طول فنر پس از فشردگی با پس از جا دادن در درب صفحه کلید با هم در نظر با طول

فنر پس از فشرده شدن کلید باشد داریم:

$$l_1 - l_s = 0.3 \Rightarrow l_1 = 0.3 + 1.8 = 2.1\ mm$$

$$\Rightarrow l_2 = 2.1 + 3 = 5.1\ mm \Rightarrow \text{طول آزاد فنر} = L_0 = 5.1 + \frac{0.15}{0.67} = 13\ mm$$

لذا بیشترین تنش برشی که در حالت فشرده شدن کلید در فنر رخ می‌دهد و همچنین کمترین تنش

برشی در همان نقطه که در حالت آزاد بودن فنر رخ می‌دهد را، نقطه‌ی فنر بین این

دو تنش نوسان می‌کند عبارت است از:

$$\tau_{Max} = \frac{8FD}{\pi d^3} \times K_B \quad \text{و} \quad K_B = \frac{4C+2}{4C-3}$$

Subject:
Year. Month. Date. ۸۱

$\Rightarrow k_B = \frac{۴۲}{۳۷} \Rightarrow \tau_{Max} = ۲۰۲۳ \, MPa \quad , \quad \tau_{min} = \frac{۵۰}{۵۰ + ۰/۴ \times ۵۰} \times ۲۰۲۳ = ۱۴۴۵ \, MPa$

$\tau_m = \frac{\tau_{Max} + \tau_{min}}{۲} = ۱۷۳۴ \, MPa \qquad \tau_a = \frac{\tau_{Max} - \tau_{min}}{۲} = ۲۸۲ \, MPa$

فرض می شود فنر ساچمه زنی شده است: $S_{s_a} = ۳۹۸ \, MPa \; , \; S_{s_m} = ۵۳۴ \, MPa$

$\Rightarrow F.S. = ۰/۰۸$

درنتیجه در این حالت فنر در اثر خستگی می شکند. برای جلوگیری از این اتفاق و کم کردن تنش ها چند راه پیشنهاد می شود: ۱- افزایش قطر مفتول ۲- کاهش تعداد اکتیو فنر در حالی که قطر مفتول ثابت است ولی باید توجه کرد که اکتیو فنر کمتر از ۱۰ حلقه مناسب نیست. ۳- بهبود جنس فنر ولی چون بهترین جنس همین سیم موسیقی است این راه غیر منطقی است. لذا راه اول یعنی بهترین کار افزایش قطر مفتول است: $d = ۰/۲۵ \, mm$

اکتیو فنر را ۱۰ در نظر می گیریم: $C = ۱۰ \Rightarrow D = ۲/۵ \, mm \Rightarrow N_a = ۳۹$

تعداد دورها خیلی زیاد است لذا اکتیو فنر را ۱۵ منظور می کنیم: $C = ۱۵ \Rightarrow N_a = ۱۱$

$\Rightarrow k_B = \frac{۶۲}{۵۷} \Rightarrow \tau_{Max} = ۴۸۵ \, MPa \quad , \quad \tau_{min} = \frac{۵۰}{۵۰ + ۰/۴ \times ۵۰} \times ۴۸۵ = ۳۴۶ \, MPa$

$\Rightarrow \tau_m = ۴۱۵ \quad \tau_a = ۶۹ \quad \Rightarrow F.S. = ۱/۴$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ضریب اطمینان بالای ۲٫۱ در طراحی فنر در خستگی مناسب است و ضریب اطمینان ۲ را دست آمده عملی برای طراحی (over design) است. حالا که دائم فنر در خستگی ارزش می برد.

اکنون باید بررسی کنیم در هنگام جا زدن فنر، فنر از بین نرود. در بدترین حالت جا زدن، فنر با انتها فشرده می شود در این حالت داریم:

$l_s = (N_a + ۲)d = ۳٫۲۵ \, mm$

$l_1 - l_s = ۰٫۳ \Rightarrow l_1 = ۳٫۵ \Rightarrow l_2 = ۳٫۵ + ۳ = ۶٫۵ \Rightarrow L_0 = ۶٫۵ + \frac{۰٫۵}{۰٫۲۷} = ۱۲ \, mm$

$\Rightarrow F = k(L_0 - L_s) = ۵۷۲ N \Rightarrow F.S.)_{static} = ۲٫۵۳$

در لحظه جا زدن فنر خراب نمی شود. حالا در کاهش شکلی فنر ... کم باشد فرکانس طبیعی فنر باید بیش داریم:

$f = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m_s}} = ۵۴۴ \, Hz$

واضح است که مناسب است چون هیچ کاری ... در فرکانس ... نداریم.

برای کمانش شرط عدم کمانش عبارت است از:

$L < \frac{\pi D}{\alpha}\sqrt{\left(۲\frac{E-G}{۲G+E}\right)}$

چون دو سر تکیه گاه تخت و درگیر باشند $\alpha = ۰٫۵$ ... می گردد داخل ... بالا ... داریم که:

$L < ۱۹٫۱ \, mm$

که چون ۱۲mm است، اما در ... بالا ... که کمانش رخ نمی دهد.